

15 JAHRE IURS e.V.



**UMWELTECHNIK
UND RECYCLING**



Institut für Umwelttechnik und Recycling Senftenberg e.V.

Resümee und ausgewählte Projekte eines An-Institutes der Hochschule Lausitz (FH)

Herausgegeben vom IURS e.V., unter Federführung von
Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Metzinger
und unter Mitarbeit von Andreas Bürger

Senftenberg, November 2012

VORWORT

Fünfzehn Jahre erfolgreiches Wirken des Institutes für Umwelttechnik und Recycling Senftenberg e.V. an der Hochschule Lausitz in der Region, lässt auf ein starkes Engagement der Beteiligten schließen. Ich freue mich, dass es gelungen ist, Kompetenzträger der Hochschule, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in starker Verbundenheit mit unseren Studierenden über die Jahre in einer Gemeinschaft für die Region wirken zu lassen.

Im Ergebnis dieser Bemühungen sind Umsetzungen von angewandter wissenschaftlicher Tätigkeit von der Hochschule in die Wirtschaft in umfänglicher Form gelungen. Davon zeugen Patentanträge, Veröffentlichungen, Anstellungen von wissenschaftlichen Mitarbeitern und vieles mehr.

Besonders hervorheben möchte ich die Arbeit mit den Studierenden als ergänzendes Potenzial zu den Ausbildungsaufgaben der Hochschule. Im Rahmen der unterschiedlichsten Themen war es den Vertretern des Institutes immer wieder ein wichtiges Anliegen, Studierenden beim Erwerb von Praxiskenntnissen zur Seite zu stehen.

Für die geleistete Arbeit bedanke ich mich an dieser Stelle sehr herzlich und möchte darauf verweisen, dass das Institut als Werbeträger für die Hochschule in vorzüglicher Art und Weise wirkt.

In diesem Sinn wünsche ich den Mitgliedern des An-Institutes für die Zukunft weiterhin ein erfolgreiches Arbeiten mit den Partnern aus der Region.

Günter H. Schulz
Präsident der Hochschule Lausitz (FH)

INHALTSVERZEICHNIS

15 Jahre Institut für Umwelttechnik und Recycling Senftenberg e.V. (IURS)

15 Jahre IURS e.V. – Versuch einer Bilanz	6
Der Heinz-Ludwig-Horney-Preis des IURS und seine Preisträger	12

Ausgewählte wissenschaftlich-technische Projekte:

1. „Kostensparende Steuerung von Trinkwasserspeichern im Versorgungsgebiet Spremberg“	14
2. „Steinerkennung bei Schaufelradbaggern“	28
3. „Zur Geruchsminderung in Abwasserkanälen“	38
4. „Untersuchungen zur Schalldämpfung in Stahlmanteltragrollen an Hoch- leistungsgurtförderanlagen in Abhängigkeit von konstruktiven Parametern“	54
5. „Zusammenarbeit der Vattenfall Europa Mining AG mit dem IURS zur Thematik Minimierung von Staub- und Geräuschemissionen im Bergbau“	60
6. „Analyse hochbeanspruchter Gleitlagerungen in und am Verbrennungsmotor“	66
7. „Erzeugung von synthetischem Diesel aus biogenen Reststoffen“	74
8. Geschwindigkeitsgeregelte Gurtförderanlage im Tagebau Nochten“	86
9. Satzung des IURS	100
10. Ausblick	108

15 JAHRE IURS E.V. – VERSUCH EINER BILANZ

Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Metzing, Stellv. Vorsitzender des IURS e.V.

Im Februar 1997 wurde das Institut für Umwelttechnik und Recycling Senftenberg e. V. (IURS) auf Initiative von Prof. Dr. Biegel und Prof. Dr. Metzing (FB Maschinenbau) mit Unterstützung des damaligen Gründungsrektors der FH Lausitz, Prof. Dr. R. Sessner, gegründet. Über die Jahre hat das Institut eine beachtliche Entwicklung durchlaufen und durch wissenschaftliche Arbeiten für Unternehmen und durch eine Reihe von akademischen Initiativen an den Standorten Senftenberg und Cottbus zur Entwicklung der Hochschule und der Region beigetragen. Zur Untersetzung dieser Aussagen und Eindrücke seien nun einige besondere Aktivitäten und Meilensteine des IURS e.V. aufgeführt:

Gründungsmitglieder waren damals:

Prof. Bewersdorff	Prof. Oelmann	LAUBAG (Herr Jung)
Prof. Biegel	Prof. Tempel	SVZ (Dr. Seifert, H.Engel)
Prof. Bultmann	Frau Thürmer	LUS (Herr Mader)
Prof. Hille	Prof. Schober	Rethmann Abfallentsorgungs-
Prof. Hyna	Prof. Wrubel	gesellschaft Senftenberg
Prof. Metzing	Prof. Koch	(Frau Walkowiak).

In den ersten Vorstand wurden gewählt:

Vorsitzender: Prof. Hyna
Stellv. Vorsitzender: Prof. Oelmann
Schatzmeister: Prof. Tempel
Weiteres Vorstandsmitglied: Frau Straub

Auf weiteren Jahreshauptversammlungen wurden die folgenden Vorstände gewählt:

Ab 15.03.2001	Ab 2005 bis 2011
Vorsitzender: Prof. Metzing	Vorsitzender Prof. Metzing
Stellv. Vorsitzender: Prof. Oelmann	Stellv. Vorsitzender: Prof. Biegel
Schatzmeister: Prof. Hyna	Schatzmeister: Herr Bürger
Weiteres Vorstandsmitglied: Frau Straub	Weiteres Vorstandsmitglied: Frau Straub

Ab 2011

Vorsitzender: Prof. Biegel
Stellv. Vorsitzender: Prof. Metzing
Schatzmeister: Herr Bürger
Weiteres Vorstandsmitglied: Frau Dr. Straub

Insgesamt wurden bisher mehr als 100 Projekte mit außeruniversitären Unternehmen abgeschlossen und vom IURS e.V. erfolgreich bearbeitet. Die folgende Liste gibt einen Überblick über die wesentlichen Projekte der letzten 15 Jahre. Man erkennt die Vielfalt der Aufgaben und der Auftraggeber und die Praxisrelevanz der Projekte.

Wesentliche Projekte des IURS:

Graborgan	Biegel / Metzing / MAN TAKRAF Lauchhammer
Förderbrückenschwingungen	Biegel / MAN TAKRAF Lauchhammer
Xylit	Biegel / Metzing / LAUBAG
Geruchsemission aus Abwasserkanälen	Metzing / DBU / RSC Cottbus
Mechanisch – biologische Abfallbeseitigung	Straub / LUS
Simulation HKW SFB	Metzing / GMB
Entphenolung	Petrick / SVZ
Wirbelschichtkohle	Biegel / LAUBAG
Filterbrunnen	Biegel / LAUBAG
PVC-Rohr	Gründer / Fränkische Rohrwerke
Triphenylabwasser	Petrick / Silica Verfahrenstechnik
Umlenkuras	Gründer / FAM Magdeburg
Schüttgutwagen	Biegel / Vattenfall Europe Mining AG
Pumpenreinigung	Hyna / PSA Freienhufen
Pumpenprüfstand	Bürger / FPA Freienhufen
Oberflächenbefestigung	Metzing / Vattenfall
Biofilter	Metzing / Vattenfall
30 kV-Kabel	Hyna / Vattenfall
Simulation TW-Netz Bagenz	Metzing / SWAZ
Rigolenooptimierung	Gründer / Fränkische Rohrwerke
Dränrohrberechnung	Gründer / Fränkische Rohrwerke
Trommelberechnung	Gründer / FAM
RFID-Einsatz	Metzing / REISS Büromöbel
Schaumentsorgung	Biegel / Kunststoffkompetenzzentrum
Simulation Entphenolung	Petrick / Sustek SVZ
Behältersteuerung	Metzing / SWAZ (Spremlberger Wasser- und Abwasser Zweckverband)
TW-Versorgung Welzow	Metzing / SWAZ
Simulation Brikettverpackung	Biegel / Vattenfall
Berechnung Schaufelrad	Gründer / SIGMA
Wirkleistungsmessungen	Biegel / Vattenfall
Recherche Gärreste	Metzing / GMB
Kälteanlagen	Petrick / IPI Wolfen

Elektrokahn	Biegel / WBV Calau
Technologieuntersuchungen	Metzing / REISS
AT-Katalog	Metzing / BEA
Produktionsoptimierung	Biegel / Annaburger Nutzfahrz.
Verminderung Schallemission	Biegel / Vattenfall
Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen Tragrolle	Biegel / Vattenfall
Mikroalgen	Petrick / GMB
Messung Schalleistung	Bürger / PeWo
Simulation Entphenolung	Petrick / Envirotherm
Schadensanalyse	Metzing / GMB
Chemietoiletten	Straub / Lausitzer Klärtechnik
Schafwollpellets	Metzing / IfN
IR-Spektren	Hyna / Wolfener Analytik
Energieanalyse	Domschke / Bäckerjunge
Studie Biodiesel	Domschke / Energieprod. Görzke
Optimierung ARA Cb.	Straub / DB AG
Optimierung Fettzugabe	Straub / LWG
Wasseranalysen	Straub / SPN
Untersuchungen Pflegebett	Simon / Knickmeier Forst
Untersuchungen Gitterrost	Simon / LAAM
Fumaversi	Domschke / ifn
Volumenstrommessung	Biegel / VPC

Bei der Bearbeitung obiger Projekte sind interessante wissenschaftlich-technische Lösungen erarbeitet worden. Diese sind in den jeweiligen Abschlußberichten u./o in Kolloquien, wissenschaftlichen Fachtagungen etc. vorgestellt worden.

Im Folgenden seien einige wichtige Tagungen und Veröffentlichungen des IURS e.V. vorgestellt:

Festkolloquium zur Zusammenarbeit zwischen der REISS Büromöbel GmbH Bad Liebenwerda, der FH Lausitz und dem IURS e.V. am 9.05.2007. Einschließlich des Abschlusskolloquiums des Master-Studenten Jianbo Bai zum Thema „Ein Beitrag zur Einführung der RFID-Technologie in der REISS BÜROMÖBEL GmbH“

Festkolloquium „10 Jahre IURS e.V. – aus der Arbeit eines An-Institutes“:

Aus Anlass des 10-jährigen Bestehens wurde mit einigen langjährigen Industriepartnern Bilanz über die bisherige Zusammenarbeit gezogen und zukünftige Aufgaben formuliert.

Simulationssoftware für Produktionssysteme – Anwendungen, Nutzen, Erfahrungen.

Fachtagung am 5.12.2001 an der FH Lausitz. Der Tagungsband ist beim IURS erhältlich.

9. Wassersymposium der FH Lausitz am 18.04.2002: Thematik: „Geruch und Korrosion in Entwässerungskanälen“. Informationen und Tagungsband beim IURS erhältlich.

VDE-Kongress 2004 in Berlin, 18. – 20.10.2004:

Vortrag zum Thema: „Entscheidungshilfe zur Fahrweise und Brennstoffkombination eines braunkohlestaubgefeuerten Kraftwerkes mit KWK“ Prof. Metzging, A.Bürger (FHL), K.-P: Lehmann, U. Hellebrandt (GMB).

Metzging, Bürger (FHL): „Ein Beratungssystem zur effektiven Steuerung eines Heizkraftwerkes“ Biegel, Grönke: „Untersuchungen zur Optimierung von stetigen Gewinnungs-Technologien am Beispiel eines längsverfahrbaren Kurvenförderers“, Wissenschaftstag der FHL, Oktober 2004

Unterstützung Shell Eco - Marathon:

Entstanden aus einer Wette zweier Wissenschaftler veranstaltet die Firma Shell seit 1939 jedes Jahr den Shell Eco – Marathon. Inhalt der ursprünglichen Wette war es zu ermitteln, wie weit das eigene Auto mit einer Gallone Treibstoff fahren könne. Daraus ist heute ein Wettstreit um effiziente und effektive Antriebstechnologien geworden. Im Jahr 2009 wurde der Shell Eco – Marathon erstmals in Deutschland auf dem EuroSpeedway Lausitz bei Senftenberg durchgeführt. Seit dem Jahr 2010 startet unter der Trägerschaft des IURS e.V. ein Fahrzeug von Studenten der Hochschule Lausitz (FH).

2010/2011: SunCatcher Phasell, 2012: Lady 3, CFK (Elektroantrieb): Platz 1

Beteiligung am Deutschlandstipendium:

Das Deutschlandstipendium fördert bundesweit seit dem Sommersemester 2011 mit 300 € monatlich Studierende sowie Studienanfängerinnen und Studienanfänger, deren Werdegang herausragende Leistungen in Studium und Beruf erwarten lassen. Dabei kommt die Hälfte vom Bund und die andere Hälfte von privaten Stiftern. Mittelfristig sollen bis zu 8 Prozent aller Studierenden an deutschen Hochschulen davon profitieren. Das IURS stiftet seit dem Sommersemester 2012 ein Deutschlandstipendium für Studierende aus den Studiengängen Maschinenbau, Chemie und Civil and Facility Engineering der Hochschule Lausitz.

Kompetenzfelder

Zum Abschluss dieses Resümees seien die **Kompetenzfelder** des IURS aufgeführt. Dabei werden jeweils die verantwortlichen Professoren mit ihren fachlichen Angeboten einschließlich Kontaktmöglichkeiten aufgeführt. Bei Interesse kann so der Kontakt zu den verantwortlichen Hochschullehrern der Hochschule Lausitz (FH) direkt hergestellt werden:

Umweltanalytik und Umweltchemie

Untersuchungen von Wasser, Boden, Klärschlämmen auf anorganische sowie organische Schadstoffe entsprechend vorhandener Möglichkeiten bzw. Vermittlung von Kontakten zu akkreditierten Laboratorien

Beratung im Bereich der Prozess- und Umweltanalytik

Prof. Dr. rer. nat. Claus Hyna, Claus.Hyna@hs-lausitz.de

Wasser-/Abwassertechnik

Verfahrenstechnische Bewertung von Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungssystemen, Optimierung von Prozessen der Abwasserreinigung und Schlammbehandlung, Gewässerkundliche Untersuchungen und Einschätzungen von Immissionen und Emissionen

Dr.-Ing. Andrea Straub, Andrea.Straub@hs-lausitz.de

Mess- und Automatisierungstechnik

Entwurf und Planung von Leitsystemen zur Erfassung und Verarbeitung von Umwelt- und Prozessdaten, Industrieabwasserbehandlung

Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Metzing, peter.metzing@hs-lausitz.de

Andreas Bürger, Andreas.Buerger@hs-lausitz.de

Logistik und Fördertechnik

Entwicklung /Spezialisierung von Fördertechniken

Beratung zum Aufbau von Logistiksystemen

Prof. Dr.-Ing. Peter Biegel, Peter.Biegel@hs-lausitz.de

M. Eng. Jan Magister, Jan.Magister@hs-lausitz.de

Thermische Verfahrenstechnik, Chemische Grundoperationen

Simulationsrechnungen zur Thermischen Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Ingolf Petrick, Ingolf.Petrick@hs-lausitz.de

Systemtechnik

Theoretische und experimentelle Analyse,

Modellbildung komplexer technischer und nichttechnischer Systeme

Prof. Dr. - Ing. Daniela Döring, Daniela.Doering@hs-lausitz.de

Ansiedlung, Standortentwicklung, Energieeffizienzlösungen

Businessplan, Finanzierung, Genehmigungsplanung

Alternative und regenerative Energien

Prof. Dr. oec. Domschke, h.domschke@t-online.de

Gastechnik, Gasversorgungstechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Heymer, Juerger.Heymer@hs-lausitz.de

Prof. Dr.-Ing. Roland Würzberg, r.wuerzberg@t-online.de

Konstruktionstechnik im Maschinenbau

Prof. Dr.-Ing. Meißner, Thomas.Meißner@hs-lausitz.de

Dipl. Wi.-Ing. (FH) Stephan Hertschier, Stephan.Hertschier@hs-lausitz.de

Konstruktion, Cax-Techniken, Werkzeugmaschinen

Prof. Dr.-Ing. habil. Sylvio Simon, Sylvio.Simon@hs-lausitz.de

Verfahrenstechnik, chemische Verfahrenstechnik,**Reaktionstechnik, Biochemieingenieurwesen**

Lilli Dombrowski, Lilli.Dombrowski@hs-lausitz.de

Untersuchungen zum Einsatz von Entspannungsturbinen,**Kogeneration, Trigeneration**

Prof. Dr.-Ing. habil. Vladimir S. Agababov

agababovvs@yandex.ru

Festkörpermechanik, Festigkeitsberechnungen, FEM

Prof. Dr.-Ing. Joachim Gründer, gruender@mw.htw-dresden.de

DER „HEINZ – LUDWIG – HORNEY – PREIS“ DES IURS E.V.

Das IURS e.V. verleiht seit dem Jahr 2004 jährlich den „Heinz – Ludwig – Horney – Preis“. Mit ihm wurden bis 2008 herausragende beispielhafte Praktikumsarbeiten von Studierenden aus den Fachbereichen IEM, ABV und BCV der Fachhochschule Lausitz gewürdigt. Seit dem Jahr 2011 werden Studierende mit herausragenden Ergebnissen beim Abschluss des Bachelorstudiums (Abschlussarbeit) oder vergleichbarer Arbeiten gewürdigt.

Prof. Dr. Heinz-Ludwig Horney war von 1991 bis 1994 Gründungsdekan des Fachbereiches Maschinenbau der FH Lausitz. Innerhalb kurzer Zeit gelang es ihm mit seinen umfangreichen Erfahrungen als Hochschullehrer ein Team von praxiserfahrenen Professoren zusammenzuführen und einen leistungsfähigen Fachbereich Maschinenbau aufzubauen, der bereits im Jahr 1991 den Lehrbetrieb aufnahm.

Prof. Dr. Heinz - Ludwig Horney verstarb am 13. Dezember 2010 in seiner Heimatstadt Bochum.

Der Preis wurde bisher an folgende Studierende bzw. Absolventen verliehen:

2004

Jan Oehme, Fachbereich BCV

„Geruchsbelästigungen in kommunalen Abwässern – Ursachen und Möglichkeiten der Vermeidung“, WAL Senftenberg

Lars Ulke, Fachbereich MB

„Messungen an einem Turbo-Compound-Traktor“,
Herr Magister, John Deere Werke Mannheim

2005

Heiko Wannagat, Fachbereich MB;

Thomas Zimmermann, Fachbereich MB

„Optimierung des Materialtransportes an der Fräswalze MTS 250“,
Herr Philipp, MAN TAKRAF Fördertechnik GmbH

2006

Frank Gatzke, Fachbereich MB,

„Tribologische- und Festigkeitsuntersuchungen an
Gelenkendoprothesen“, Prof. Hille, IMA Dresden

Robert Haschick, Fachbereich BCV

„Metallozenkatalysierte Synthese von Poly(10-Undecen-1-ol)
Makromonomeren und deren Charakterisierung“, Prof. Petrick,
Institut für Polymertechnik Dresden

2007

Maja Kaiser, Fachbereich BCV/BT

„Anwendung molekularbiologischer Methoden in der Diagnostik der Onychomykose“, Prof. Dr. Stahmann, Charité Berlin

Andreas Rath, Fachbereich BCV/C

„Untersuchung zu Möglichkeiten der Aufarbeitung nitrathaltiger Konzentrate aus einer Abwasserbehandlungsanlage der Sprengölproduktion und deren Nutzung als Rohstoff für die Herstellung von Emulsionssprengstoffen“, Prof. Dr. H. Oelmann, Sprengstoffwerk Gnaschwitz

Thomas Lau, Fachbereich IEM/WIP dual

„Programmmentwurf zur Abwicklung der jährlichen Materialbestellung“, Herr Magister, Vattenfall Europe Mining AG Schwarze Pumpe

2008

Stephan Guder, Fachbereich IEM/WIP

„Beitrag zur automatischen Behälterfüllstandssteuerung von Trinkwasserbehältern im Versorgungsgebiet Spremberg“, Prof. Dr. Metzinger, SWAZ Spremberg

Stefan Vetter, Fachbereich IEM/WIP

„Variantenvergleich und Lösungsvorschlag für die Tagebauförderung aus großen Teufen“, Herr Magister, Basalt-Actien-Gesellschaft Nordostdeutsche Hartsteinwerke, Zweigstelle Koschenberg

2011

B. Eng. Christian Dumke, Fachbereich BCV

„Auslegung und Inbetriebnahme eines mit Filterpatronen betriebenen Entstaubers zur Reinigung der Abluft einer Coating Prozessanlage“, Prof. Suckow

2012

B. Eng. Martin Russig, Fachbereich MB

„Optimierung der Trocknungsanlage an der PA-Anlage“, Prof. Simon, Tube Technology Systems AG

B. Eng. Robert Heinemann, Fachbereich BCV/CV

„Untersuchungen zum Verhalten der Wasserstoff-Terminierung von sauer-geätzten Silicium-Wafern“, Prof. Acker

1. KOSTENSPARENDE STEUERUNG VON TRINKWASSERSPEICHERN IM VERSORGUNGSGEBIET SPREMBERG

Prof. Dr. rer. nat. habil Peter Metzger, IURS e.V.

Andreas Bürger, Hochschule Lausitz (FH), IURS e.V.

Dipl.-Math. R. Bäns, IAT GmbH Hoyerswerda

Dipl.-Ing. Bernd Schmied, SWAZ Spremberg

1.1 Einführung in das Steuerungsproblem

Das zu lösende Steuerungsproblem lässt sich am Besten mithilfe des Technologieschemas der Trinkwasserversorgung im Versorgungsgebiet Spremberg erläutern.

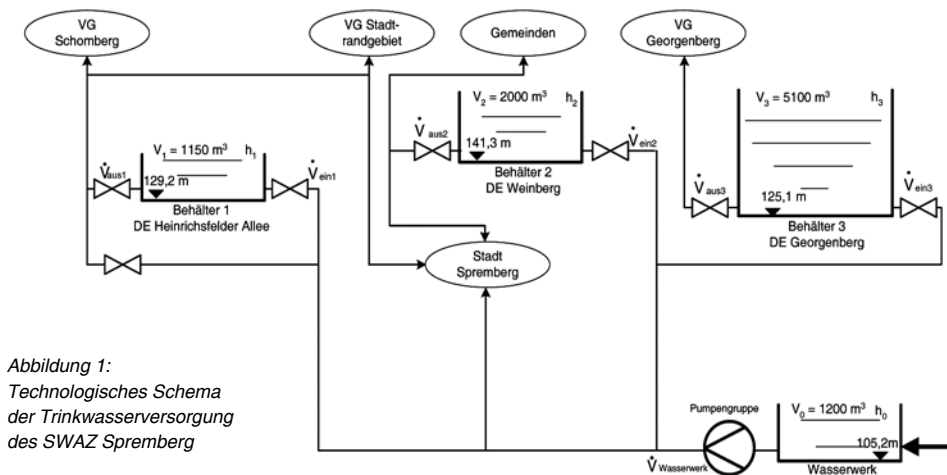


Abbildung 1:
Technologisches Schema
der Trinkwasserversorgung
des SWAZ Spremberg

Im technologischen Schema der Trinkwasserversorgung des Spremberger Wasser- und Abwasser Zweckverbandes (SWAZ) (Bild 1) sind 3 Trinkwasserbehälter unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher geodätischer Höhe zu erkennen, die das Wasserwerk Spremberg bei der Trinkwasserversorgung der Stadt Spremberg unterstützen /1/. Bei hohem Wasserbedarf des Versorgungsgebietes wird Wasser aus den Behältern zusätzlich zu dem Wasser aus dem Wasserwerk in das Netz eingespeist. In Zeiten geringer Wasserbedarfs und geringer Energiekosten (z.B. nachts) werden die Behälter wieder aufgefüllt.

Die Aufgabe einer kostensparenden Steuerung besteht darin, die Zu- und Abgabe der einzelnen Behälter entsprechend der aktuellen Situation (Bedarf, gespeichertes Volumen, aktueller Energietarif) zeitlich so zu steuern, dass unter Voraussetzung der Bedarfsdeckung und Einhaltung von Randbedingungen (u.a. Wasserdruck, Austauschzeit des Wassers) mög-

lichst geringe Energiekosten entstehen. Das heißt z.B. Füllung aller Behälter nach einem zeitlichen Regime in Zeiten mit geringen Energiekosten (billiger Nachtstrom) und Betrieb der Pumpen möglichst nahe am Wirkungsgrad - Optimum. Eine Totalabschaltung der Pumpen bei minimalem Reinwasserbehälterstand ist wegen der befürchteten Fließrichtungsumkehr unbedingt zu vermeiden.

Die zu ermittelnden Steueralgorithmen sollen dem Wasserwerksdispatcher als Vorschlag und Hilfe für eine zeitlich effektive Steuerung des Trinkwassersystems seines Versorgungsgebietes dienen.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind folgende Teilaufgaben zu bearbeiten:

1. Technologische Modellierung des gesamten Trinkwassersystems und deren Simulation z.B. mit MATLAB/Simulink /2/
2. Nutzung der vorhandenen Prozessdatenerfassung und der Prozessleittechnik einschließlich SPS zur Echtzeiterfassung benötigter aktueller Prozessdaten
3. Erarbeitung von Steuerstrategien und deren Realisierung mit möglichst minimalen Elektroenergiekosten. So ist der Arbeitspreis für die verbrauchte elektrische Arbeit in eine Hochtarifzeit (HT) und eine Niedrigtarifzeit (NT) unterteilt. Konkrete Angaben dazu enthält /3/.
HT: Mo - Fr 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr und
Sa 06:00 - 13:00 Uhr mit Arbeitspreis von 7,4 ct/kWh
NT: für alle übrigen Zeiten und an Feiertagen mit Arbeitspreis: 6,4 ct/kWh
Es wird angestrebt, die Pumpen möglichst während der NT auszulasten.
4. Auswertung und Erprobung der ermittelten Steuerstrategien.

Zu diesen Punkten werden im Folgenden nähere Ausführungen gemacht.

1.2 Technologie und Steuerung der Trinkwasserversorgung im Versorgungsgebiet Spremberg

Die Hauptaufgabe des SWAZ ist die sichere Versorgung der Bevölkerung und Industrie mit Trinkwasser und eine umweltgerechte Abwasserentsorgung.

Im untersuchten Trinkwasserversorgungsnetz unterstützen drei Hochbehälter (Durchlaufbehälter mit jeweils nachfolgender Druckerhöhung) mit unterschiedlichen technischen und geodätischen Daten die ansonsten direkt vom Wasserwerk erfolgende Trinkwasserversorgung des Versorgungsgebietes der Stadt Spremberg (s. Bild 1).

Zur Vermeidung von Wasserfärbungen durch Ablagerungen im Rohrnetz infolge Fließrichtungsumkehr können die Behälter leider nicht als Gegenbehälter für die bis zu 40 Meter tiefer liegende Stadt genutzt werden. Die großen Behältervolumina können allerdings zur Kostenminimierung genutzt werden. Den Behältern wird i.d.R. tagsüber Wasser für die dahinter liegenden Versorgungsgebiete entnommen.

Für die Trinkwasserversorgung und die Befüllung der Behälter stehen mehrere Reinwasserpumpen im Wasserwerk zur Verfügung.

Bislang erfolgte die Entscheidung über die Füllung der Behälter durch die im Schichtdienst tätigen Anlagenfahrer nach den Kriterien:

- Geringer Gesamttrinkwasserbedarf im Netz
- Maximaler Füllstand der Behälter kurz vor der morgendlichen Spitzenbedarfszeit
- Regelmäßige Nutzung aller verfügbaren Pumpen
- Minimierung der Elektroenergiekosten.

Inzwischen ist die personelle Besetzung im Wasserwerk entfallen und die in Bereitschaft stehenden Anlagenfahrer verbinden sich bei Bedarf über das Prozessleitsystem mit dem Wasserwerk und geben die Zielgrößen manuell vor.

Im praktischen Betrieb werden zur Trinkwasserförderung Kreiselumpen eingesetzt. Die Kosten für die Elektroenergie zum Betreiben der Kreiselumpen im Wasserwerk sind beträchtlich und sollen reduziert werden.

Die Pumpenkennlinie einer Kreiselpumpe dokumentiert den nichtlinearen Zusammenhang von Volumenstrom \dot{V} und Förderhöhe H für einen bestimmten Rohrquerschnitt mit Angabe des jeweiligen Pumpenwirkungsgrades.

Die Pumpen sind möglichst mit dem optimalen Wirkungsgrad η (hier im Bereich von 75 % bis 80 %) bei einem Förderstrom von beispielsweise 180 m³/h ... 230 m³/h für eine Pumpe zu betreiben.

Der Zusammenhang zwischen Förderhöhe H der Gesamtanlage und dem Volumenstrom \dot{V} ist ebenfalls nichtlinear, netzspezifisch und wird in der Anlagenkennlinie dokumentiert (Bild 3).

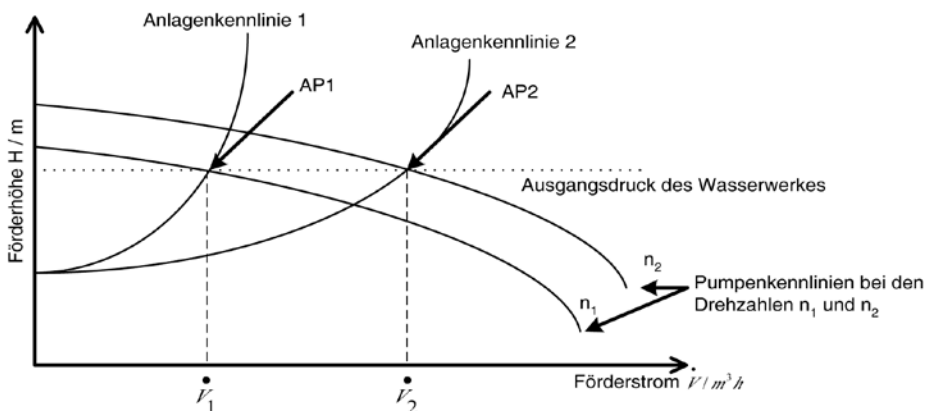


Abbildung 2: Anlagenkennlinien eines Trinkwassernetzsystems

Bild 2 zeigt schematisch die sich einstellenden Arbeitspunkte des Trinkwassernetzes (Wasserwerk und Rohrleitungsnetz). Das Wasserwerk wird immer so betrieben, dass der Ausgangsdruck konstant ist. Bei diesem Druck stellt sich die Anlagenkennlinie 1 mit dem Arbeitspunkt AP1 ein. Um beim durch die Verbraucher abgeforderten Volumenstrom \dot{V} den Ausgangsdruck p_1 halten zu können, ist die Drehzahl n_1 erforderlich.

Steigt der durch die Verbraucher abgeforderte Volumenstrom auf \dot{V}_2 , ändert sich die Anlagenkennlinie und die Drehzahl der Pumpe muss auf n_2 erhöht werden, um den Ausgangsdruck des Wasserwerkes konstant halten zu können. Das Trinkwassersystem arbeitet im Arbeitspunkt AP2.

Praktisch werden meist, statt die Drehzahl der Pumpen zu verändern, die benötigte Anzahl von zusätzlichen Pumpen zu- oder abgeschaltet, um beim geforderten Ausgangsdruck den Volumenstrom fördern zu können. Das bewirkt jedoch zwangsläufig, dass die Pumpen nicht immer mit dem optimalen Wirkungsgrad betrieben werden.

1.3 Modellierung und Simulation des gesamten Versorgungsgebietes

Das Gesamtsystem wurde mithilfe von MATLAB/Simulink /2/ modelliert. Da für die Aufgabenstellung die Trinkwasserentnahme einzelner Teilnetze ausreichend ist und nicht die Entnahme einzelner Verbraucher, wurde das System zur Modellierung entsprechend vereinfacht.

Als Hauptbestandteile des Modells ergeben sich entsprechend Bild 1 als

Quellen:

- Pumpenausgang des Wasserwerkes
- Hochbehälter bei Einspeisung in das Netz

und als Senken:

- Hochbehälter bei Füllung
- zusammengefasste Verbraucher bzw. Teilnetze

Das Trinkwassernetz kann als ein Bilanzraum angesehen werden, in dem gilt /5/:

$$\frac{dV_l}{dt} = \dot{V}_{ein,l} - \dot{V}_{aus,l} \quad \text{für } l = 1, 2, 3 \quad (1)$$

mit

V_l im Behälter l gespeichertes Volumen

$\dot{V}_{ein,l}$ in das System einströmender Volumenstrom (Quellen)

$\dot{V}_{aus,l}$ aus dem System ausströmender Volumenstrom (Senken)

Gleichung (2) gibt an, welche Arbeit W erforderlich ist, um ein bestimmtes Wasservolumen V um die Höhe h zu heben:

$$W = \rho \cdot V \cdot g \cdot h \quad (2)$$

Das im Zeitraum t_a bis t_b in einen Behälter eingeflossene Flüssigkeitsvolumen ermittelt sich allgemein aus dem Volumenstrom:

$$V = \int_{t_a}^{t_b} \dot{V}_{\text{ein}} dt \quad (3)$$

und bei konstantem Volumenzufluss

$$V = \dot{V}_{\text{ein}} \cdot (t_b - t_a) \quad (4)$$

t_a, t_b betrachteteter Zeitraum

Daraus ergibt sich für die verrichtete Arbeit bei der Füllung des Behälters

$$W = \rho \cdot g \cdot h \cdot \dot{V}_{\text{ein}} \cdot (t_b - t_a) \quad (5)$$

Für die praktische Berechnung der Arbeit bei der Förderung eines Wasservolumens auf eine Höhe h sind jedoch noch weitere Größen zu berücksichtigen. Dies sind Strömungswiderstände in den Rohrleitungen und Armaturen, die Druckdifferenz zwischen Quelle und Senke sowie Aus- und Zulaufgeschwindigkeiten. Diese Größen werden in der Förderhöhe H (Angabe auch in bar möglich) berücksichtigt.

Die erreichbare Förderhöhe H wird bestimmt durch /4/:

$$H = z_a - z_e + H_v + \frac{p_a - p_e}{\rho \cdot g} + \frac{v_a^2 - v_e^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

z_a	Zulaufhöhe des Flüssigkeitsspiegels im Saugbehälter
z_e	Zulaufhöhe des Flüssigkeitsspiegels im Druckbehälter
H_v	durch Strömungswiderstände in den Rohrwandungen, Formstücken und Armaturen hervorgerufene zusätzlich erforderliche Förderhöhe
p_a	Druck im Druckbehälter
p_e	Druck im Saugbehälter
v_e	Auslaufgeschwindigkeit aus dem Saugbehälter
v_a	Zulaufgeschwindigkeit in den Druckbehälter

Bei dieser Anwendung wirkt sowohl auf der Saug- als auch auf der Druckseite lediglich der atmosphärische Luftdruck. Aufgrund der in Trinkwasserversorgungsanlagen üblichen geringen Fließgeschwindigkeiten wird auch der Einfluss der Fließgeschwindigkeiten v_e und v_a auf die Förderhöhe vernachlässigbar gering.

Damit ergibt sich als Gesamtförderhöhe H der Anlage durch Vereinfachung von (6):

$$H_A = z_a - z_e + H_v \quad (7)$$

Im Trinkwassernetz sind die 3 Hochbehälter durch mehrere zu einer Pumpengruppe parallel geschaltete Pumpen im Wasserwerk mit dem Gesamtpumpenwirkungsgrad η zu füllen. Die Pumpengruppe im Wasserwerk übernimmt gleichzeitig die Direktbeaufschlagung des Trink-

wassernetzes mit Druck (tags 64 m \approx 627 kPa, nachts 54 m \approx 519 kPa). Dieser Druck ist höher als der zur Überwindung der geodätischen Höhendifferenz zwischen Wasserwerk und Behälter erforderliche Druck. Damit wird der Ausgangsdruck der Pumpengruppe und der Druck im Trinkwassernetz praktisch unabhängig von der geodätischen Höhe der Behälter. Aus (5) resultiert die für die Füllung der Behälter 1, 2 und 3 in den Zeiten t_1 , t_2 , und t_3 mit einem bestimmten Volumen $\dot{V}_{\text{ein}1}$, $\dot{V}_{\text{ein}2}$, $\dot{V}_{\text{ein}3}$ aufzubringende mechanische Gesamtarbeit W_{ges} :

$$W_{\text{ges}} = \rho \cdot g \cdot H_1 \cdot \dot{V}_{\text{ein}1} \cdot t_1 + \rho \cdot g \cdot H_2 \cdot \dot{V}_{\text{ein}2} \cdot t_2 + \rho \cdot g \cdot H_3 \cdot \dot{V}_{\text{ein}3} \cdot t_3 \quad (8)$$

H_i Förderhöhe der Pumpengruppe für den i-ten Behälter
 $\dot{V}_{\text{ein}1}$, $\dot{V}_{\text{ein}2}$, $\dot{V}_{\text{ein}3}$ Volumenzufluss der Behälter 1, 2 und 3 (annähernd konstant)
 t_1 , t_2 , t_3 Füllzeit für die Behälter 1, 2 und 3

Die für die Füllung der Behälter erforderliche elektrische Gesamtarbeit $W_{\text{ges}}^{\text{elektr}}$ berechnet sich mit

$$W_{\text{ges}}^{\text{elektr}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_1 \cdot V_{\text{ein}1} \cdot t_1}{\eta} + \frac{\rho \cdot g \cdot H_2 \cdot V_{\text{ein}2} \cdot t_2}{\eta} + \frac{\rho \cdot g \cdot H_3 \cdot V_{\text{ein}3} \cdot t_3}{\eta} \quad (9)$$

η Gesamtwirkungsgrad der Pumpengruppe im Wasserwerk

Der Ausgangspunkt für die Simulation ist das in Abschnitt 4 (Bild 7) dargestellte Automatisierungsschema des Gesamtsystems zur Erfassung der notwendigen Prozessdaten und Ansteuerung der Behälterventile (Ist-Zustand).

Das Simulationsmodell eines Behälters ist in Bild 3 zu sehen.

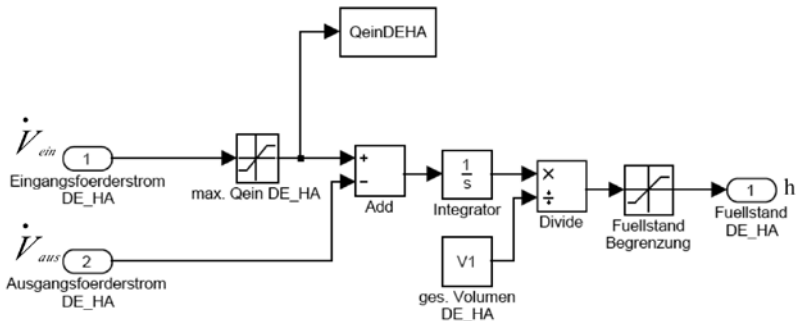


Abbildung 3: Simulationsmodell eines Behälters

Das Modell ermittelt zunächst die Differenz des vorgegebenen Eingangs- und Ausgangsvolumenstroms \dot{V}_{aus} und \dot{V}_{ein} . Anschließend erfolgt durch Integration die Ermittlung der resultierenden Volumenänderung. Durch Division mit dem Maximalvolumen des Behälters wird das Ergebnis normiert und als Wert zwischen 0 und 1 ausgegeben. Durch den proportionalen

Zusammenhang zwischen Volumen und Füllstand gilt dieser Wert für Volumen und Füllstand. Grenzwertüberwachungen des Eingangsvolumenstroms und des normierten Volumens bzw. Füllstandes dienen der Vermeidung von Fehlern u.ä.

Hauptbestandteile des Simulationsmodells des vereinfachten Trinkwassernetzes mit Steuerungssystem sind die Modelle entsprechend Bild 4 für die 3 Behälter sowie der Block „Steuerung“, der den Steuerungsalgorithmus zur Füllung der Behälter enthält. (s. Abschnitt 5)

Gespeicherte reale Messwerte der Ausgangsvolumenströme der 3 Behälter sowie des Volumenstroms zur Direktversorgung der Stadt und Konstanten wie z.B. geodätische Höhen und maximale Behälterfüllstände dienen als Eingangsgrößen des Modells.

Das Modell liefert als Simulationsergebnis die aktuellen Behälterfüllstände und den Gesamt- ausgangsvolumenstrom des Wasserwerks.

Zur Validierung des Simulationsmodells wurden die Simulationen mit realen Messwerten durchgeführt und die ermittelten Füllhöhen mit den realen Messwerten der Füllhöhen verglichen. Es ergab sich eine gute Übereinstimmung der Simulationswerte mit den gemessenen Prozessgrößen /6/.

1.4 Datenerfassung und Prozessleittechnik

Die Datenerfassung und Steuerung des in den vorigen Abschnitten beschriebenen Systems der Trinkwasserversorgung des SWAZ erfolgt mithilfe des Fernwirksystems SAT1703 der Firma Siemens Energy Automation GmbH & Co. KG (ehemals VATECH SAT). Zur Visualisierung der im laufenden Betrieb erfassten Daten, wird das Prozessleitsystem SAT230 im Wasserwerk eingesetzt Dabei werden (vgl. Bild 6)

- Die Behälterfüllstände h_1 , h_2 , h_3 gemessen und vor Ort sowie im Leitstand angezeigt und registriert (LIR 01).
- Die Ausgangsvolumenströme der Behälter \dot{V}_{aus1} , \dot{V}_{aus2} , \dot{V}_{aus3} und der Volumenstrom der Direktbeaufschlagung der Stadt \dot{V}_{Stadt} gemessen und vor Ort sowie im Leitstand angezeigt und registriert (FIR 02).
- Die Ventile zur Füllung der Behälter 1, Behälter 2 und Behälter 3 vom Leitstand aus gesteuert (FY 03). (Bild 6)

Da das Wasserwerk nur zeitweise besetzt ist, besteht die Möglichkeit des Zugriffs auf das Prozessleitsystem von außen. Das erfolgt durch Einwahl in das System über Modem oder per GSM - Dienst. Der Bereitschaftsdienst hat damit die Möglichkeit, in den laufenden Prozess einzugreifen und auf Störungen, die durch ein separates Überwachungssystem per Anruf auf das Bereitschaftshandy erfolgen, zu reagieren.

Zur Steuerung, Überwachung und zur Datenübertragung zwischen den Stationen werden zurzeit folgende Typen des Fernwirksystems SAT1703 eingesetzt:

- DE Heinrichsfelder Allee SK1703
- DE Georgenberg SK1703
- DE Weinberg AMC1703
- Wasserwerk AMC1703, TM1703 mic, TM1703 ACP

Die Übertragung der Daten zwischen den Stationen erfolgt zurzeit außerhalb des Wasserwerkes über angemietete analoge Standleitungen der Telekom im End-End-Verkehrsprotokoll. Innerhalb des Wasserwerkes erfolgt die Kommunikation über Ethernet mit dem Protokoll IEC60870-5-104 bis zum Prozessleitsystem SAT230.

Im Wasserwerk wird zur Bedienung der Brunnen für die Wasserhebung das System TM1703 mic verwendet, welches über Lichtwellenleiter mit der zentralen Steuerung (TM 1703 ACP) für alle Brunnen verbunden ist.

Für die Steuerung der Wasserwerksprozesse kommt eine TM1703 ACP zum Einsatz, die mithilfe unterlagerter Steuerungen den Prozess der Wasseraufbereitung und der Abgabe in das Trinkwassernetz übernimmt.

Der Prozess der Abgabe in das Trinkwassernetz erfolgt mithilfe der Pumpen P1 - P4, die über Frequenzumrichter gesteuert und geregelt, einen vorgebbaren Ausgangsdruck von 6,6 bar am Tag und von 5,5 bar in der Nacht für das Netz zu Verfügung stellen. Entsprechend der benötigten Menge im Versorgungsgebiet erfolgt druckgeregelt das Zu- und Abschalten der verfügbaren Pumpen. Ein täglicher Pumpenwechsel der jeweils im Prozess führenden Pumpe gewährleistet eine gleichmäßige Auslastung der 4 Pumpen.

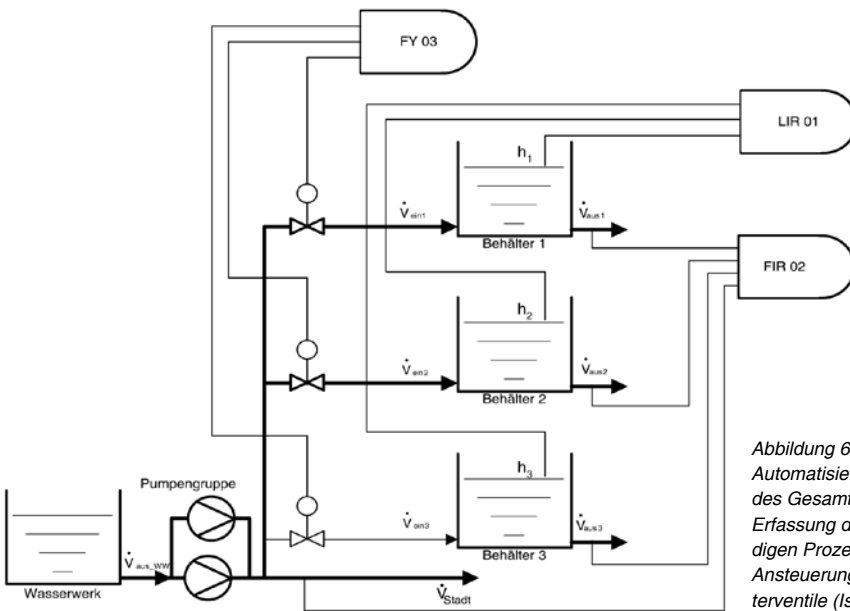


Abbildung 6:
Automatisierungsschema
des Gesamtsystems zur
Erfassung der notwen-
digen Prozessdaten und
Ansteuerung der Behäl-
terventile (Ist-Zustand)

1.5 Steueralgorithmen zum Befüllen der Speicherbehälter

Die oberste Priorität des zu realisierenden Steuerungssystems ist die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung der Abnehmer mit ausreichendem Druck. Die Kosten für die Einhaltung dieser Bedingung sind möglichst gering zu halten (s. Abschnitt 1 und 3).

Aus Gründen der Versorgungssicherheit und aufgrund wasserwirtschaftlicher Vorgaben sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- konstanter Pumpenausgangsdruck
- maximaler Füllstand der Behälter vor dem Trinkwasserspitzenbedarf (z.B. wochentags um 06:00 Uhr)
- Einhaltung der Mindestaustauschzeit des gesamten in den Behältern gespeicherten Volumens von 7 Tagen

Voraussetzung zum Entwurf des Steuerungssystems ist die Modellierung des in Bild 1 dargestellten vereinfachten Trinkwassernetzes (Simulationsmodell der 3 Behälter).

Die Grundstruktur des Gesamtmodells einschließlich Steuerungssystem zeigt Bild 7.

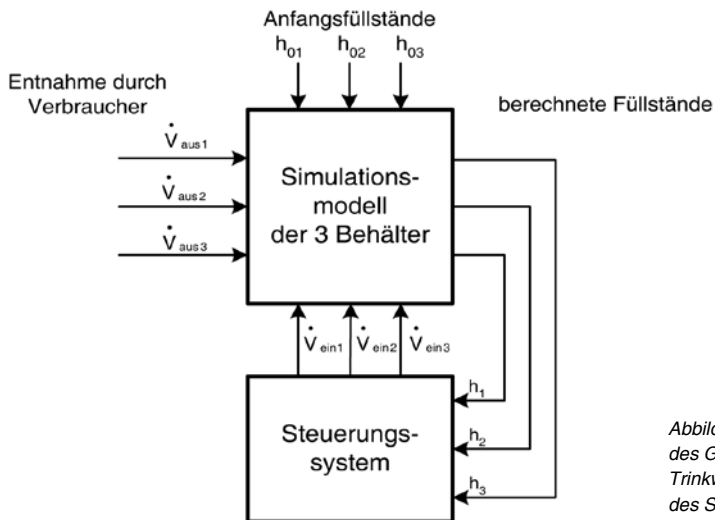


Abbildung 7: Grundstruktur des Gesamtmodells des Trinkwassernetzes und des Steuerungssystems

Die Berechnung der Füllstände im Simulationsmodell erfolgt auf Grundlage der Gleichungen (1) bis (4). Die Ausgangsvolumenströme der Behälter \dot{V}_{aus1} , \dot{V}_{aus2} , \dot{V}_{aus3} werden von den Verbrauchern bestimmt und dienen als Eingangsgrößen des Simulationsmodells.

Abgeleitet von den o.g. Bedingungen wurden für HT und NT getrennte Steuerstrategien entwickelt. Folgende Grundsätze gelten für beide Steuerstrategien:

- Der Behälter mit dem jeweils größten zu füllenden Volumen wird zuerst befüllt.
- Maximal 2 Behälter werden gleichzeitig gefüllt, der 3. Behälter wird ggf. zum Erreichen des optimalen Gesamtvolumenstromes einbezogen.
- Die Behälter werden regulär nur bis 90% des max. Füllstandes gefüllt. Somit stehen 10 % des Behältervolumens als Puffervolumen zur Verfügung.
- Es ist immer mindestens eine Pumpe in Betrieb.
- Der parallele Betrieb von bis zu 3 typgleichen Pumpen ist möglich, damit kann Staffelbetrieb und Aufteilung des Gesamtvolumenstroms realisiert werden.

Zur Sicherstellung des geforderten Pumpenausgangsdruckes wird automatisch die benötigte Anzahl Pumpen aktiviert.

Der optimale Volumenstrom \dot{V}_{opt} ergibt sich aus

$$\dot{V}_{opt} = \sum_{i=1}^3 \dot{V}_{opt\ Pump\ i} \quad (10)$$

\dot{V}_{opt} optimaler Gesamtvolumenstrom

$\dot{V}_{opt\ Pump\ i}$ optimaler Volumenstrom der i-ten Pumpe

Der jeweils zur Behälterfüllung zur Verfügung stehende Volumenstrom resultiert damit aus

$$\dot{V}_{Fall} = \dot{V}_{opt} - \dot{V}_{Stadt} \quad (11)$$

\dot{V}_{Fall} zur Behälterfüllung zur Verfügung stehender Volumenstrom

\dot{V}_{Stadt} von den Verbrauchern abgeforderter Volumenstrom

Weiterhin sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Betriebsbereich je Pumpe: 40 m³/h – 210 m³/h
- Tags beträgt der Pumpenausgangsdruck 64 m (≈ 627 kPa) bei einem optimalen Volumenstrom von 170 m³/h – 210 m³/h (je Pumpe bei optimalen Wirkungsgrad)
- Nachts beträgt der Pumpenausgangsdruck 54 m (≈ 519 kPa) bei einem optimalen Volumenstrom 180 m³/h – 230 m³/h (je Pumpe bei optimalen Wirkungsgrad)

Nachfolgend werden einige wichtige Betriebsfälle kurz erläutert:

1. Zeitraum 06:00 Uhr – 24:00 Uhr (HT)

Die Behälter werden nur gefüllt, wenn sie den minimalen Behälterfüllstand erreichen oder unterschreiten. Es wird mit dem maximalen Eingangsvolumenstrom des Behälters gefüllt, bis der Füllstand größer als der minimale Füllstand ist. Anschließend wird der Eingangsvolumenstrom des Behälters so eingestellt, dass sich ein optimaler Gesamtvolumenstrom ergibt.

2. Zeitraum 24:00 Uhr – 06:00 Uhr (NT)

Fall 2 a: 2 oder 3 Behälter sind zu füllen

2 Behälter werden gleichzeitig mit dem maximalen Volumenstrom gefüllt. Wenn der optimale Gesamtvolumenstrom nicht erreicht wird, wird parallel der 3. Behälter mit dem Restvolumenstrom gefüllt.

Fall 2 b: Ein Behälter ist zu füllen

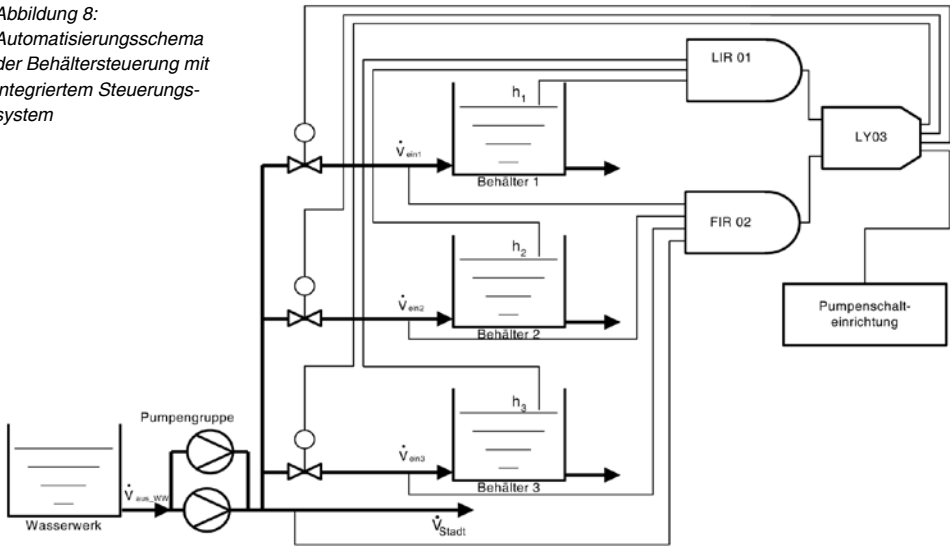
Der Behälter wird mit maximalem Volumenstrom gefüllt. Wird der optimale Gesamtvolumenstrom nicht erreicht, wird der größere der gefüllten Behälter mit dem verbleibendem Restvolumenstrom gefüllt.

Fall 2 c: Alle Behälter sind gefüllt

Wenn der optimale Gesamtvolumenstrom nicht erreicht wird, wird das Puffervolumen der Behälter aufgefüllt. Vorrangig wird der jeweils größte Behälter gefüllt.

Zur Realisierung des beschriebenen Steuerungssystems ist das in Bild 8 gezeigte Automatisierungsschema erforderlich.

Abbildung 8:
Automatisierungsschema
der Behältersteuerung mit
integriertem Steuerungssystem



Das Steuerungsmodul LY03 steuert automatisch die Einlassventile für die 3 Hochbehälter und die Pumpen im Wasserwerk.

1.6 Diskussion der Simulationsergebnisse

Simulationsergebnisse mit Beispielmesswerten des Ausgangsvolumenstromes der Behälter als Eingangsgrößen zeigen die Bilder 9 und 10 für einen Zeitraum von 2 Tagen.

Die Füllung der Behälter (Bild 9 begann um 0 Uhr (bzw. 24 Uhr) und endete abhängig vom Behältervolumen gegen 06:00 Uhr. Aufgrund des geringeren Volumens war der Behälter „DE Heinrichsfelder Allee“ bereits gg. 04:00 Uhr gefüllt. Der Sollfüllstand der Behälter „DE Weinberg“ und „DE Georgenberg“ betrug in diesem Beispiel 60 %. Um einen optimalen Gesamtvolumenstrom zu erreichen, wurden diese Behälter über 06:00 Uhr hinaus teilweise weiter befüllt. Außerhalb des NT werden die Behälter nur gefüllt, um einen optimalen Ausgangsvolumenstrom des Wasserwerks zu erreichen.

Den zugehörigen Ausgangsvolumenstrom des Wasserwerks zeigt Bild 10. Im überwiegenden Teil des Simulationszeitraums beträgt der Gesamtvolumenstrom ca. 200 m³/h (optimaler Volumenstrom für Betrieb mit einer Pumpe) bzw. ca. 400 m³/h (optimaler Volumenstrom für Betrieb mit zwei Pumpen). Aufgrund der Steuerung der Volumenströme der Behälter wurde der Ausgangsvolumenstrom des Wasserwerks und damit die Arbeitspunkte der Pumpen während des HT (06:00 Uhr – 24:00 Uhr) konstant gehalten.

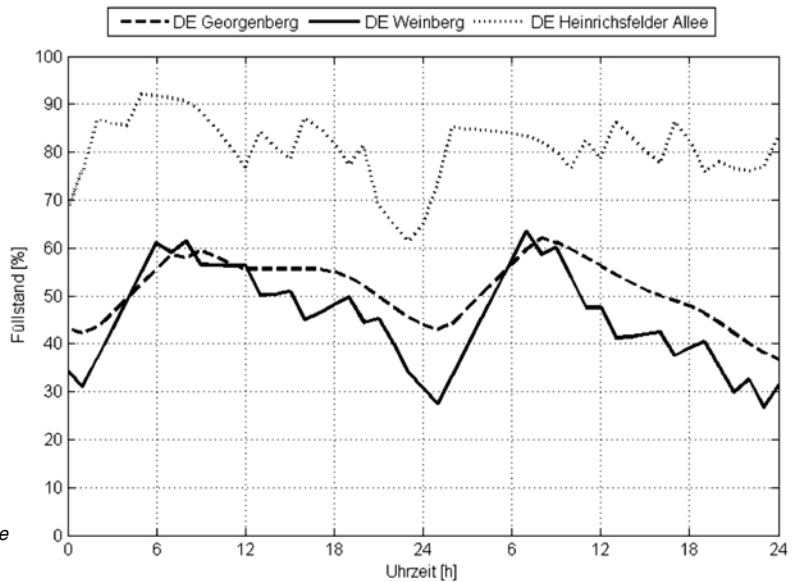


Abbildung 9:
Simulationsergebnis
der Behälterfüllstände

In der NT – Zeit wurden die Behälter gefüllt. Dabei stieg der Volumenstrom am Ausgang des Wasserwerkes auf ca. 350 m³/h bis ca. 450 m³/h und blieb damit im optimalen Bereich.

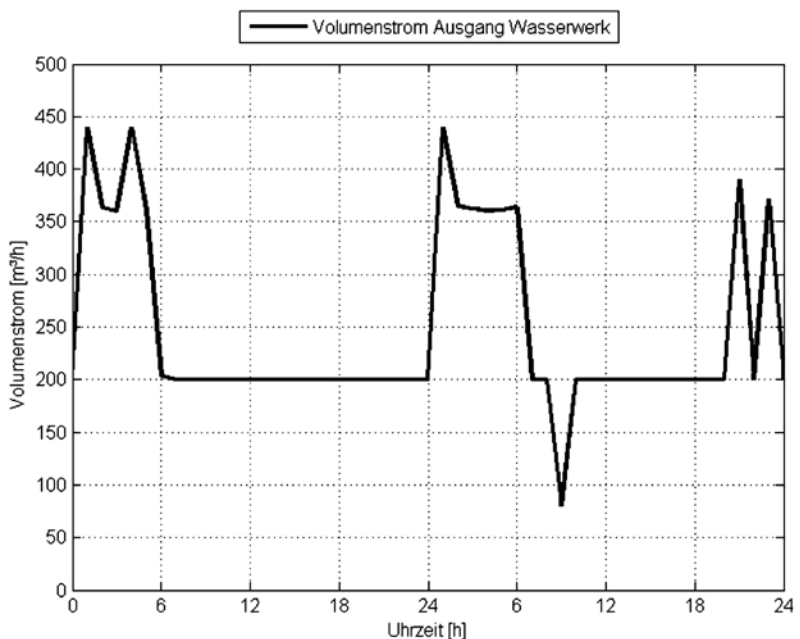


Abbildung 10:
Simulationsergebnis
des Ausgangs
volumenstroms
am Wasserwerk

1.7 Ausblick

Das in dieser Publikation vorgestellte konkrete Probleme der Kosten sparenden Steuerung von Trinkwasserspeichern ist von allgemeinerer Bedeutung, da das Problem der effektiven Füllung und Entleerung von Speichern in HT- und NT-Zeiten relativ häufig vorkommt. Gleichzeitig können auch die Druckverhältnisse im Netz und die vorgeschriebenen notwendigen Spülungen der Rohrleitungen und Filter mit geringem Aufwand in das System integriert werden.

Die vorgestellte automatische Steuerung stellt ein Beispiel für eine verteilte, komplexe und hierarchisch strukturierte Automatisierungslösung dar, die auf Grund der gestiegenen Leistungsfähigkeit der Prozessleittechnik immer häufiger möglich wird.

Literatur

- /0/ www.swaz-spremberg.de
- /1/ anonym: Technische Unterlagen zur Trinkwasserversorgung des Spremberger Wasser- und Abwasserzweckverbandes (SWAZ), 2006
- /2/ Hoffmann, J.; Brunner, U.: MATLAB & Tools für die Simulation dynamischer Systeme, Addison Wesley Verlag, München, 2002
- /3/ anonym: Daten aus dem Vertrag des SWAZ mit einem Energieversorger, 2006
- /4/ KSB: Kennlinienheft Etanorm / Etabloc/Etanorm –R, KSB Aktiengesellschaft, Frankenthal, www.ksb.com
- /5/ Metzging, P.; Balzer, D.; Reinhard, H.: „Prozeßsteuerung“, Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1986
- /6/ Ebel, O. G.: Maschinelle und elektrische Anlagen in Wasserwerken, Oldenbourg Verlag GmbH, München / Wien, 2002
- /7/ Liu, Xin: Masterthesis „Steuerstrategie zur Befüllung von Trinkwasserspeicher im Versorgungsgebiet Spremberg“, Fachhochschule Lausitz, Studiengang Systems Engineering, Senftenberg, 2007

2. STEINERKENNUNG BEI SCHAUFERADBAGGERN

Prof. Dr.-Ing. P. Biegel, Andreas Bürger,
M. Eng. J. Magister, Hochschule Lausitz (FH)
Prof. Dr. rer. nat. habil P. Metzging, IURS e.V.

2.1 Einleitung

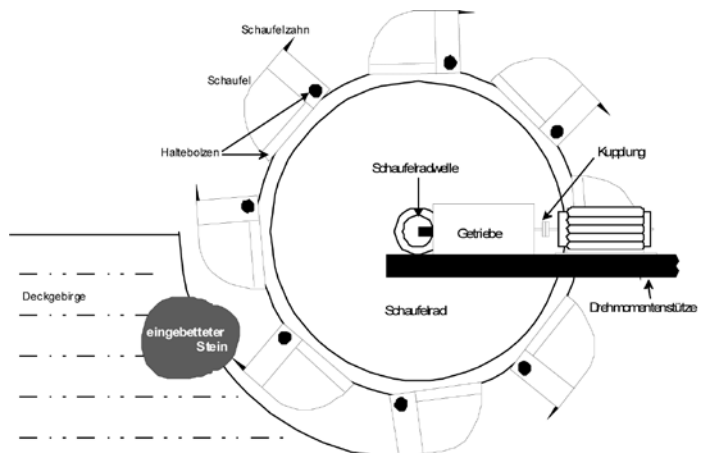
Zur obertägigen Förderung von Bodenschätzen im Tagebaubetrieb ist es zunächst erforderlich, das Deckgebirge abzutragen. Dazu werden bei zunehmender Teufe aufgrund besserer technologischer Eigenschaften häufig Schaufelradbagger eingesetzt. In Abbaufeldern erschweren und verteuern pleistozäne Einlagerungen (Steine) den Einsatz von Schaufelradbaggern.

Trifft eine Schaufel während des Baggerbetriebes mit ihrer Bewegungsenergie auf einen solchen Stein, so entstehen Kräfte, die zur Zerstörung der Schaufel und zu einer Ausweichbewegung des gesamten Oberbaus eines Baggers führen können. Dieser Vorgang stellt eine große Belastung für alle an der Kraftübertragung beteiligten Bauteile, insbesondere für Kupplungen und Getriebe, oberbauseitig für Schwenkwerk sowie für die Seiltriebe und Stahlkonstruktion dar.

Bisherige Lösungsansätze gehen davon aus, den Stein im Deckgebirge vor dem Baggervorgang z.B. mit Bodenradarverfahren zu erkennen, durch geeignete Baggertechnologien freizuschneiden und zu entfernen. In anderen Fällen ist es erforderlich, das Tagebauvorfeld bei hoher Steineinlagerungswahrscheinlichkeit mit speziellen Fördergeräten bis in eine Tiefe von 20 m nach eingelagerten Steinen zu durchsuchen und diese zu entfernen.

Mit dem hier vorgestellten Sensor - Aktor - System soll ein Verfahren vorgestellt werden, mit dem große steinähnliche Körper im Deckgebirge anhand der beim Fördervorgang auftretenden Kräfte, Momente, Beschleunigungen oder Schwingungen erkannt werden können. Vorrangiges Ziel dieses Lösungsansatzes ist es, die Stillsetzungszeit des Schaufelrades zu verkürzen und damit die zusätzliche Belastung der kraftübertragenden Bauteile zu vermindern. Der Aufbau des Schaufelrades und der kraftübertragenden Bauteile ist in Abbildung 1 dargestellt. /1/

Abbildung 1: Skizze
des Schaufelrades mit
Antriebssystem bei der
Steinanbaggerung



2.2 Existierende Lösungen

Die bisher angewandten Lösungen für die Minimierung der Steinanbaggerung bei der Abraumförderung teilen sich in folgende Grundprinzipien:

- Der Baggerfahrer hat i.d.R. langjährige Erfahrung mit „seinem“. Er kennt die Reaktionen des Baggers auf die geförderte Bodenart was sich z.B. durch Schwingungen des Baggers, Grabgeräusche usw. bemerkbar macht. Mit diesem Erfahrungsschatz ist es ihm möglich, bereits teilweise freigelegte Steine im Deckgebirge zu erkennen und das schaufelzerstörende Anbaggern dieser Steine zu vermeiden.

Dies ist die bisher übliche Methode zum Schutz des Baggers vor Schäden. Sie stellt aber kein zuverlässiges Verfahren dar, um einen Bagger in allen Betriebszuständen vor extremen Belastungen zu schützen.

- Der Antriebsmotor des Schaufelrades ist in der Regel über eine Überlastkupplung (mechanisch, hydraulisch oder elektrisch) mit dem Getriebe verbunden. Übersteigt das Moment zwischen Motor und Getriebe einen Grenzwert, so trennt die Kupplung den Motor vom Getriebe. Dieses Verfahren löst nur bei Überschreiten eines Grenzwertes aus. Jedoch kann dieser Grenzwert beim Baggern von schwer baggerfähigen Böden oder bestimmten Technologien ebenfalls erreicht und überschritten werden. Die Trägheit der Kupplung führt dazu, dass Kraftspitzen, wie sie bei einer Steinanbaggerung in das System eingeleitet werden, bis zum Motor hin wirken bzw. das gesamte Trägheitsmoment (Schaufelrad, Getriebe, Motor) den Anbaggerungsprozeß beeinflusst.
- Prophylaktische Grabungen mit speziellen Baggern in Kombination mit Bodenradar in Abbaubereichen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit Steine enthalten. Diese Methode ist mit einem hohen personellen, zeitlichen und technischem Aufwand verbunden. Wegen der unbekannten Anzahl und Lage der im Deckgebirge eingelagerten Steine kann die Steinfreiheit des untersuchten Deckgebirges nur für eine Teufe von bis zu ca. 20 m erarbeitet werden.
- Der Antrieb des Schaufelradbaggers erfolgt mit umrichter gesteuerten Motoren. Damit ist jederzeit die genaue Soll- und Ist-drehzahl des Schaufelrades bekannt. Bei Anbaggerung eines großen Steines wird das Schaufelrad abgebremst und es entsteht zeitbezogen eine Differenz zwischen der vom Umrichter bestimmten Solldrehzahl und der Ist-drehzahl des Schaufelrades.

Übersteigt die Drehzahldifferenz im Zeitintervall Δt einen Grenzwert, so erfolgt eine Schnellabschaltung der Antriebsmotoren.

Es besitzt jedoch den Nachteil, dass die Verzögerungen erst spät gemessen werden und der Abschaltprozess erst wirksam wird, wenn der Kraftstoß durch das System gelangt ist. /1/

2.3 Vorgänge beim normalen Baggerbetrieb und beim Anbaggern von Steinen

2.3.1 Theoretische Betrachtungen

Zunächst sollen die physikalischen Vorgänge beim direkten Anbaggern eines Steines, d.h. wenn das Schaufelrad bis zum Stillstand abgebremst wird, erläutert werden. Hierfür kann man etwa folgendes physikalische Modell zugrundelegen:

Das Anbaggern eines Steines stellt den physikalischen Vorgang eines unelastischen Stoßes dar. Der Stein besitzt eine Masse m_{Stein} , die Geschwindigkeit $v_{\text{Stein}} = 0$ sowie - bedingt durch eine feste Einbettung im Deckgebirge - eine sehr kleine Elastizität.

Beim Anbaggern des Steines trifft das Schaufelradsystem mit der Masse m_{SRad} und der Geschwindigkeit v_{SRad} auf den Stein.

Das Schaufelradsystem besitzt beim Anbaggern ebenfalls eine Rotationsenergie, die abhängig vom Trägheitsmoment der bewegten Teile und von deren Drehzahl ist.

Die Umfangsgeschwindigkeit der Schaufel v_{SRad} ist beim Anbaggern des Steines größer Null. Wegen der im Schaufelradsystem vorhandenen Elastizitäten und Dämpfungen (z.B. elastische Motorwelle, Getriebewellen, Getriebezähne, Schaufelradwelle sowie Schaufel bzw. Reibungskräfte) stellt dieses System ein maschinendynamisches Mehrmassenschwingungssystem dar.

Trifft das Schaufelradsystem beim Grabvorgang auf einen Stein (Anbaggern), so wird das Schaufelrad im hier betrachteten Extremfall vom Stein bis zum Stillstand abgebremst. Dabei wird die im System enthaltene kinetische Energie in Reibungsenergie, Wärmeenergie und der überwiegende Teil in Verformungsenergie umgewandelt. Die Verformungsenergie kann im Extremfall die Zerstörung einer oder mehrerer Schaufeln bewirken.

Der beim Abbremsen des Schaufelrades im Schaufelradsystem entstehende Kraftstoß ergibt sich aus Gleichung (1).

$$F = \Theta_{\text{red}} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

mit

F	beim Abbremsen des Schaufelradsystem entstehender Kraftstoß
$d\omega$	Winkelgeschwindigkeitsänderung der Schaufel
dt	Zeitraum der Abbremsung
Θ_{red}	reduziertes Massenträgheitsmoment der bewegten Massen des Schaufelrades und des Antriebs

Der Zeitraum dt der Abbremsung wird maßgeblich von der Reaktion der den Stein angreifenden Schaufel bestimmt. Ist die Schaufel unelastischer und wird nicht zerstört, so wird das Schaufelrad in sehr kurzer Zeit abgebremst. Wird dagegen die Schaufel beim Anbaggern des Steines zerstört, so vergrößert sich der Bremszeitraum des Schaufelrades und der Kraftstoß wird entsprechend geringer sein. Mit der Zerstörung der Schaufel wird also ein „Airbag-Effekt“ erfüllt.

Der Kraftstoß wandert, ausgehend vom Schaufelzahn über das Schaufelrad, die Schaufelradwelle, das Getriebe und die Kupplung zum Motor. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieses Stoßes entspricht etwa der Schallgeschwindigkeit im Material. Da das Schaufelradsystem ein sehr komplexes System darstellt und der Kraftstoß Werkstoffe mit unterschied-

lichen Eigenschaften durchläuft (Schweißnähte, Lager, Kupplungen, Ölfilme), kann die Schallgeschwindigkeit nicht vorausberechnet werden kann. Weiterhin wird der Kraftstoß, abhängig vom zurückgelegten Weg und von den Dämpfungseigenschaften der Werkstoffe, abgeschwächt.

Beim Betrieb des Schaufelrades besitzt der Rotor des Antriebsmotors die kinetische Energie $W_{kinMotor}$. Sie wird bestimmt vom Massenträgheitsmoment des Rotors und von seiner Winkelgeschwindigkeit. Wird das Schaufelrad bei der Steinanbaggerung schlagartig abgebremst, so ergibt sich aus der großen kinetischen Energie des Motors eine starke Belastung des empfindlichen Schaufelradsystems. Die zum Schutz installierte Kupplung trennt jedoch den Motor erst vom Getriebe, wenn das Moment einen Grenzwert überschritten hat. Alle bisher wirkenden Systeme sind jedoch langsamer als der Kraftfluss im Schaufelradantriebssystem [2].

Wird der Motor mit moderner Schalttechnik elektrisch schneller abgeschaltet, als das Öffnen der Kupplung, so besitzt der Motor weiterhin Rotationsenergie, die er in das dynamische System einbringt. Um dieses dynamische System aber wirksam vor Überlastung schützen zu können, ist es also erforderlich, das Moment an der Motorwelle während des Stillsetzungsprozesses durch eine schnelle Momentensteuerung möglichst nahe Null zu halten. Es ist für einen wirksamen Schutz der beteiligten Baugruppen erforderlich, den Stein zu erkennen und gegenzusteuern bevor sich die Steinanbaggerung zerstörend auswirken kann.

2.4 Messungen an einem Schaufelradbagger in der Abraumförderung

2.4.1 Laufzeitmessung des Impulses im Schaufelradsystem

Dieser Bagger besitzt folgende technische Daten:

Schaufelraddurchmesser	ca. 17 m
Schaufelinhalt	ca. 3 m ³
Schaufelzahl	18
Schaufelradantriebsleistung	ca. 2000 kW
Schaufelradrehzahl	ca. 3 min ⁻¹
Umfangsgeschwindigkeit am Schaufelzahn	ca. 3 m/s

Abbildung 2:
Seitenansicht
eines Schaufel-
radbaggers



Wie unter 2 beschrieben, wird bei der Steianbaggerung im Schaufelzahn ein Kraftstoß erzeugt, der sich mit Schallgeschwindigkeit im Material fortpflanzt.

Zur Bestimmung der vom Kraftstoß benötigten Zeit zur Bewältigung des Weges Schaufelzahn - Antriebsmotorwelle, wurde an einem Schaufelradbagger im Lausitzer Braunkohlerevier im Sommer 1998 eine Impulslaufzeitmessung durchgeführt [3]. (Abbildung 2)

Für die Messung wurde ein Schaufelzahn mit einem Schwingbeschleunigungssensor bestückt. Dieser Sensor dient zur Erfassung des Zeitpunktes der Erzeugung des Kraftstoßes. Sensoren zur Messung des sich fortpflanzenden Kraftstoßes wurden am Schaufelrad und an weiteren kraftübertragenden Bauteilen angebracht. Die Messsignale wurden mit einer Abtastrate von 10 kHz mit einem Datenrecorder aufgezeichnet. Die einzelnen Messorte am Schaufelradkörper sind in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Messorte der Impulslaufzeitmessung

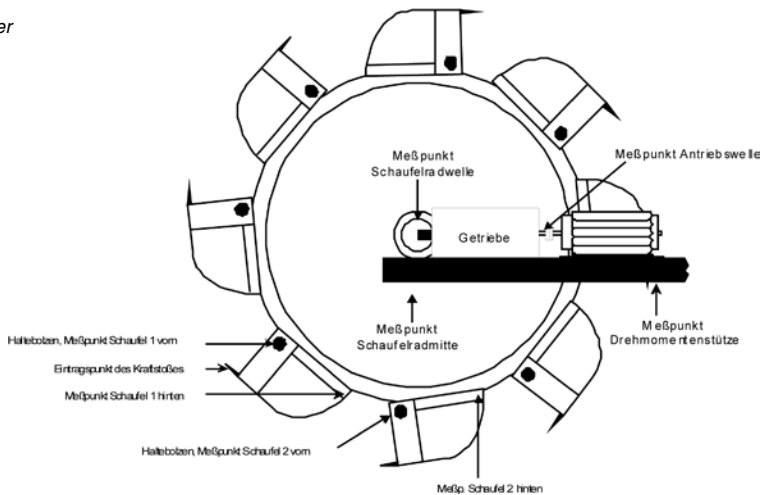
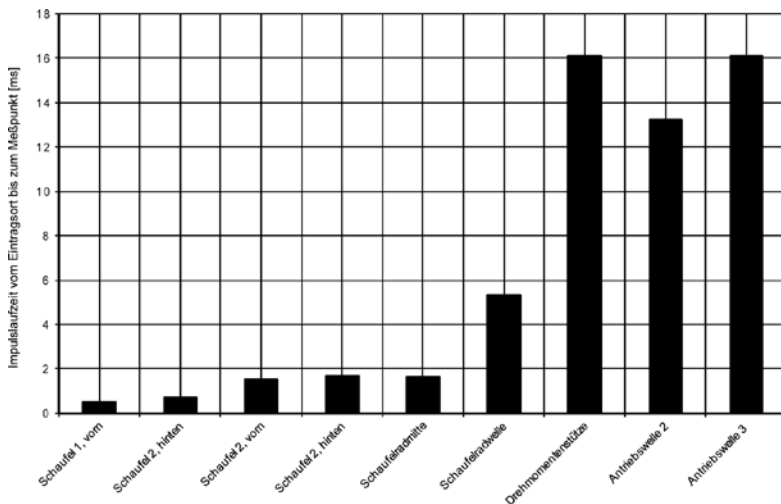


Abbildung 4: Impulslaufzeiten entsprechend der Entfernung vom Eintragungspunkt



Trotz der im Vergleich zur Steinanbaggerung sehr geringen Energiemenge die experimentell mit dem Kraftstoß eingebracht wurde, konnte der Kraftstoß an allen Messstellen nachgewiesen werden. (Abbildung 4)

Die Messwerte zeigen die erwartete Zunahme der Laufzeiten mit der Entfernung zum Eintrittspunkt des Kraftstoßes.

Die entscheidende Aussage der Messergebnisse ist, daß der durch die Steinanbaggerung erzeugte Kraftstoß am untersuchten Schaufelradbagger eine Laufzeit von etwa 16 ms vom Schaufelzahn bis zur Motorantriebswelle benötigt. Man kann also durch eine unmittelbare Messung an der Schaufel bzw. am Schaufelzahn den Stein früher erkennen, bevor die Momentenerhöhung am Getriebe geschieht.

Damit ist eine Reaktion auf eine Steinanbaggerung möglich, wenn es gelingt, während der Laufzeit des Stoßes zum Getriebe über den Umrichter den Motor auf das Antriebsmoment $M_{Motor} = 0$ zu steuern. Dadurch würde der Stoß das Getriebe lastlos werden lassen und es so schützen. /1/

2.4.2 Kraftmessung am Schaufelradbagger während des Förderbetriebes

2.4.2.1 Zielstellung und Vorbereitung der Messung

Anknüpfend an die Messung der Impulsgeschwindigkeit im Schaufelrad erfolgte eine Messung der am Schaufelradbagger SRs6300 im Tagebau Welzow – Süd mit dem Ziel, die beim Anbaggern von Steinen im Deckgebirge auftretenden Kräfte zu ermitteln.

Für die Kraftmessung wurden die Haltebolzen einer Schaufel des Schaufelradbolzens genutzt. Die Bolzen mit einer Länge von je ca. 260 mm und einem Durchmesser von 90 mm haben die Aufgabe, die Schaufel am Schaufelrad zu halten und dienen als Sollbruchstelle beim Auftreten extremer Grabkräfte. Sie werden im Normalbetrieb auf Scherung beansprucht. (Abbildung 5)

An den auf Scherung beanspruchten Querschnitten der Bolzen wurden Nuten eingebracht und je Bolzen 2 DMS – Vollbrücken zur messtechnischen Erfassung der wirkenden Kräfte appliziert. Die fertig applizierten Kraftmessbolzen wurden in der Zug- / Druckprüfmaschine der Hochschule Lausitz getestet und kalibriert.



Abbildung 5: Mit DMS applizierter Haltebolzen zum Test in einer Schaufel, ohne Schutz gegen mechanische Einwirkungen

Eine weitere DMS – Vollbrücke wurde auf der Schaufelrückseite appliziert. Diese Messstelle sollte lediglich der Detektion eines Kraftimpulses und nicht zur quantitativen Messung dienen. Aus diesem Grund wurde diese DMS - Brücke nicht kalibriert.

Schwinggeschwindigkeitssensoren an der Achse und in der Mitte des Radius der Schaufel dienten der Erfassung des zeitlichen Verlaufes des Kraftimpulses.

Die Messwerte wurden von einem Datenrecorder mit einer Abtastrate von 1 kHz aufgezeichnet. Während der gesamten Messung erfolgte eine Videoaufzeichnung des Grabvorganges. Die Messwerte der an der Schaufel und dem Schaufelrad angebrachten Sensoren wurden drahtlos mit einer Telemetrie Einrichtung an den stationären Teil des Baggers übertragen.

2.4.2.2 Durchführung der Messung

Die mit DMS vorbereitete Schaufel, die mit DMS applizierten Haltebolzen, die Schwinggeschwindigkeitssensoren, die Telemetrieeinrichtung sowie sämtliche erforderlichen Kabelverbindungen und weitere Geräte wurden am 17.11.1999 installiert und wenn erforderlich am Schaufelrad zum Schutz vor Zerstörung gepanzert.

Die Messung wurde parallel zum regulären Baggerbetrieb am 17.11.1999 gestartet und dauerte ohne Unterbrechung 86 Stunden.

Der gesamte Grabvorgang während der Messung wurde per Video und bei Bedarf zusätzlich mit Fotos sowie handschriftlichen Notizen dokumentiert.

Insgesamt wurden über 2 Milliarden Messwerte in Dateien von insgesamt 4,16 GB aufgezeichnet.

2.4.2.3 Auswertung der Messergebnisse

Nach einer Aufbereitung der Messwerte begannen die Auswertung und die Suche nach reproduzierbaren Steinanbaggerungen.

In den Messwerten gut zu erkennen waren die in gleichen Zeitintervallen wiederkehrenden Ereignisse nach einer Schaufelradumdrehung bei normalem Baggerbetrieb und 100% Drehzahl an den Signalverläufen der DMS – Kraftmessbolzen und Schwinggeschwindigkeitssensoren. Die Periodendauer von durchschnittlich $T=16,44\text{ s}$ entspricht einer Schaufelradrehzahl $n = 3,65\text{ min}^{-1}$ und einer Umfangsgeschwindigkeit $v_{\text{Umf}} = 3,25\text{ m/s}$.

Im Fall einer Steinanbaggerung sind in den Messkurven des äußeren Schwinggeschwindigkeitssensors und der DMS – Kraftmessbolzen mehrfach hintereinander Signalausschläge mit einem Impulsabstand von $T = 940\text{ ms}$ auffällig. Dieser Zeitintervall entspricht dem Zeitraum bis zum Zusammenprall der jeweils nächsten Schaufel mit dem Stein. Der zeitliche Abstand kann je nach Masse und Lage des angebaggerten Steines variieren, weil er bei der Anbaggerung von der einen Schaufel mitgenommen, sich der darauffolgenden Schaufel entgegen bewegt.

Als Nachweis für die Richtigkeit der Interpretation wurde daraus die Schaufelradrehzahl $n = 3,55\text{ min}^{-1}$ berechnet. Mit der Umfangsgeschwindigkeit kann ein Schaufelabstand von $s = 2,97\text{ m}$ bestimmt werden. Eben diesen Schaufelabstand erhält man auch, wenn der Umfang durch die Anzahl der Schaufeln geteilt wird. Dieses Ergebnis ist in den Messwerten mehrfach reproduzierbar.

Während einer weiteren Steinanbaggerung konnte zwischen den Kurvenverläufen der Signale der Bolzenverformung und des äußeren Schwinggeschwindigkeitssensors ein Zeitversatz von $\Delta t = 1\text{ ms}$ gemessen werden.

Mit der Entfernung von einem Meter zwischen beiden Messstellen könnte von einer theoretischen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Impulses $v = 1000\text{ m/s}$ ausgegangen werden. Dieser Zeitversatz entspricht der Abtastrate der Signale während der Messung. Dieser Vorgang ist auch in den Videoaufzeichnungen erkennbar. (2)

Geht man in Abbildung 6 von einem stellenweise linearisierten Kurvenverlauf des Schwinggeschwindigkeitssensors aus, ist der Betrag des Anstieges der Schwinggeschwindigkeit $v = 3,2\text{ m/s}$. Bei diesem Vorgang wurde vom Kraftmessbolzen eine Kraftänderung von $\Delta F = 800\text{ kN}$ gemessen.

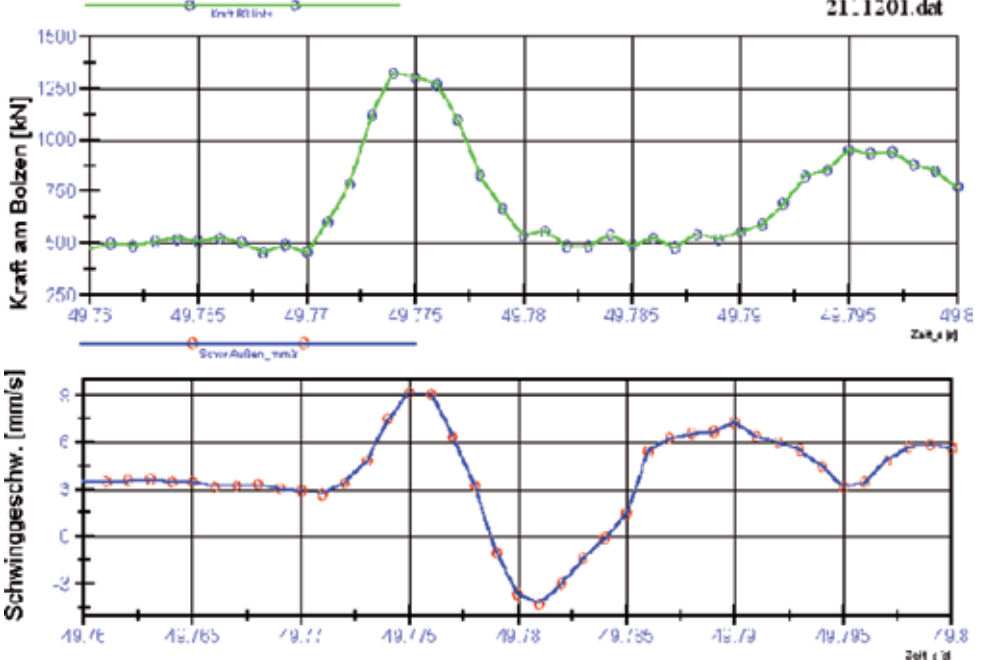


Abbildung 6: Messwerte bei Steinanbaggerung

Die Empfindlichkeit der eingesetzten Kraftmessbolzen ist abhängig von der Richtung der einwirkenden Kraft. Da jedoch die Richtung der auf den Bolzen angreifenden Kraft nicht bestimmbar war, kann die Größe der wirkenden Grabkraft nur näherungsweise bestimmt werden.

2.4.2.4 Zusammenfassung

Das vorrangige Ziel dieser Messungen war es, Messwertaufnehmer und Messort zu finden, mit deren Hilfe eine zuverlässige und schnelle Identifizierung einer Steinanbaggerung möglich ist. Im Rahmen der eingesetzten Sensoren konnte der Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer überzeugen. Für eine frühe Signalgewinnung ist der Einbauort so nah wie möglich an die Lasteinleitungsstelle zu verlegen.

Die Signale der an Schaufel und Schaufelrad montierten Sensoren erbringen durch Kraftanstieg und Geschwindigkeitsänderungen den Nachweis, dass eine Messwerterfassung und -übertragung von Steinanbaggerungen möglich ist. Bei der Auswertung von Steinanbaggerungen zeigte sich im Signalverlauf der Schwinggeschwindigkeit des öfteren die ideale Eignung des Beschleunigungssensors zur Überwachung mehrerer Schaufeln. In einem Fall konnte eindeutig der zeitliche Vorteil durch die Nähe des Sensors (DMS – Kraftmessbolzen) zum Ort der Kraftaufbringung bestätigt werden. An zwei weiteren Beispielen ist es gelungen, Steinanbaggerungen mit allen während der Messung eingesetzten Mitteln.

Eine angestrebte Untersuchung der Abhängigkeit der Grabkraft von der Bodenart blieb aufgrund gleichbleibender Bodenverhältnisse während der Messdurchführung ergebnislos. Weil es im Messverlauf zu keiner Steinanbaggerung gekommen ist, die zum Stillstand des Schaufelrades führte, konnten keine Kriterien für die Signaleigenschaften festgelegt werden, die ein solches Ereignis eindeutig beschreiben.

Literatur

- /1/ Biegel, P., Bürger, A., Magister, J., Metzinger, P. Vortrag: „Ein Sensor – Aktor – System zum Überlastschutz von Gewinnungsgeräten bei Steinanbaggerung“, DFMRS, Bremen, 1999
- /2/ Biegel, P., Bürger, A., Magister, J., Metzinger, P.: Bericht zum Projekt „Überlastschutz an Schaufelradantrieben“ ; Interner Forschungsbericht des IURS e.V., Senftenberg, 1999
- /3/ Arnold, D. und Rössel, W. : „Rekonstruktion und Modernisierung des Schaufelradantriebes und des Schaufelrades vom Großschaufelradbagger SRs6300 im Tagebau Nochten“, BRAUNKOHLE – Surface Mining Vol. 48 (1996), Nr. 2, S. 143 – 146
- /4/ Stolz, U.: „Beitrag zur automatischen Abschaltung eines Schaufelradantriebes bei Überlast“, Diplomarbeit, Fachhochschule Lausitz, Senftenberg, 2000
- /5/ Ernst, O.: „Überlastschutz an Schaufelradbagger“, Diplomarbeit, Fachhochschule Lausitz, Senftenberg, 1998

3. ZUR GERUCHSMINDERUNG IN ABWASSERKANÄLEN

Prof. Dr. rer. nat. habil. P. Metzging, IURS e.V.,
A. Bürger, Hochschule Lausitz (FH)

3.1 Einleitung

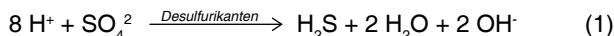
Schwefelwasserstoff (H_2S) in Abwasserkanalsystemen verursacht infolge Korrosion der Abwasserkanäle enorme wirtschaftliche Schäden. Die Geruchsbelästigungen durch aus Abwasserkanalschächten emittierendem H_2S führt zunehmend zu Protesten der Anwohner.

Es existiert eine Vielzahl von Lösungen sowohl zur Vermeidung der Entstehung als auch zur Vermeidung der Emission von H_2S . Abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren z. B. Abwasservolumen, Fließgeschwindigkeit, klimatische Einflüsse, Einleiterart (kommunal oder gewerblich) unterscheidet sich die Eignung der bekannten Lösungen. /1/

Das IURS e.V. hat in mehreren Projekten gemeinsam mit Partnern - beispielhaft seien hier Vattenfall Europe Mining AG, RSC Rohrbau und Sanierungs GmbH Cottbus, Spremberger Wasser- und Abwasserzweckverband Spremberg sowie die Hochschule Lausitz (FH) genannt – unterschiedliche Verfahren untersucht und weiterentwickelt. Im Folgenden wird kurz die Entstehung von H_2S in Abwasserkanalsystemen erläutert und im Anschluss die Ergebnisse der diesbezüglichen Projekte des IURS e.V. dargestellt.

3.2 Ursachen für Geruch und Korrosion

Bei der Entstehung von Gerüchen muss zwischen primären und sekundären Geruchsstoffen (Osmogenen) unterschieden werden. Primäre Osmogene werden mit dem Abwasser in die Kanalisation eingeleitet. Sie spielen bei häuslichem Abwasser kaum eine Rolle wohl aber bei gewerblichen und industriellen Abwässern. Sekundäre Osmogene werden erst in der Kanalisation gebildet. Aerober Abbau organischer Inhaltsstoffe führt zur Emission flüchtiger Fettsäuren, Alkoholen und Aldehyden. Beim Vorliegen anaerober Verhältnisse ist ein Freisetzen von Schwefelverbindungen wie Schwefelwasserstoff, Mercaptanen usw. möglich. Mikroorganismen, sogenannte Desulfurikanten, sind für die Umsetzung von Schwefelverbindungen zu Schwefelwasserstoff verantwortlich.



Anaerobes Milieu finden wir besonders in Druckrohrleitungen, in der Sichelhaut und in Ablagerungen im Kanalrohr. Sichelhaut kann sich entwickeln und an den Kanalwänden haften wenn die Wandschubspannungen infolge geringer Fließgeschwindigkeit klein sind. Sind mehr als 15% des benetzten Rohrumfanges mit Sichelhaut bedeckt, treten Sulfidprobleme auf. Die anaerobe Sichelhaut bietet die günstigsten Voraussetzungen für die Entwicklung sulfidproduzierender Mikroorganismen.

Frisches Abwasser wird durch Kontakt mit anaerober Sichelhaut angeimpft, d. h. sulfidproduzierende Bakterien gelangen in das fließende Abwasser (Abb. 1).

Sulfide in Freispiegelleitungen

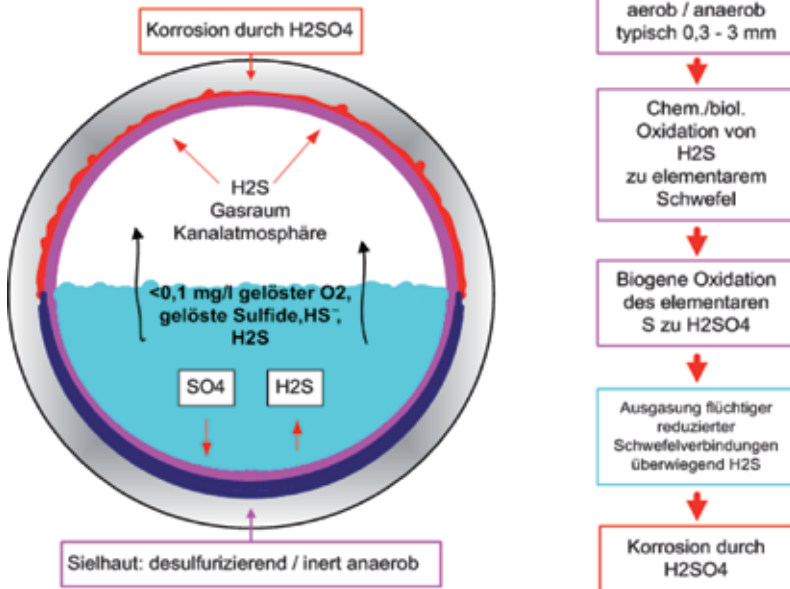


Abbildung 1:
Vorgänge in
der Sielhaut

Beim Übergang der Druckleitungen in Freispiegelleitungen kann der im Wasser gelöste Schwefelwasserstoff in die Kanalatmosphäre entweichen. Diese Schwefelverbindung gehört zu den geruchssensitivsten Stoffen. Der Geruchsschwellenwert liegt bei 0,002 - 1,4 ppm, im Bereich von 3 - 5 ppm treten bereits deutliche Geruchsbelästigungen auf. Bei höheren Konzentrationen (400 – 1000 ppm) stumpfen die Geruchszellen schnell ab, worin die besondere Gefährlichkeit dieses Schadstoffes liegt. Derart hohe H_2S -Konzentrationen wirken auf den Menschen ähnlich wie Blausäure, d. h. schon nach wenigen Sekunden tritt durch das nicht mehr zu riechende Gas der Tod ein. Deshalb sind an besonders H_2S -gefährdeten Orten entsprechende Messungen und Sicherheitsmaßnahmen durchzuführen, bevor sie von Menschen betreten werden. Der MAK – Wert für Schwefelwasserstoff in der Luft beträgt 10 ppm. /1/

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Schwefelwasserstoff-Emission aus dem Abwasser in die Kanalatmosphäre sind die Abwassertemperatur, der pH - Wert und der BSB-Gehalt (Sauerstoffzehrung).

Bei steigender Temperatur sinkt die Menge an gelöstem Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im Abwasser. Durch den Sauerstoffmangel entsteht schnell ein anaerobes Milieu, und der Anteil des molekularen Schwefelwasserstoffs in der Kanalatmosphäre nimmt zu (Maximum der H_2S - Produktion bei ca. 45°C).

Je nach Höhe des pH-Wertes liegen im wässrigen Medium entweder Schwefelwasserstoff H_2S , Hydrogensulfid HS^- oder Sulfid S^{2-} vor.

Oberhalb von pH-Wert = 6 sinkt der H_2S -Gehalt stark ab, bei pH-Werten über 9 ist kein Schwefelwasserstoff im Wasser mehr vorhanden.

Hoher BSB-Gehalt bedeutet erhöhte Sauerstoffzehrung, d. h. zunehmend anaerobes Milieu und damit steigende Sulfidproduktion.

Jahreszeitlich bedingte niedrige Abwassertemperaturen führen zu geringen biologischen Aktivitäten und gleichzeitig zu einer geringen Sauerstoffzehrung während des Abwassertransportes. Bei Abwassertemperaturen $<10^\circ\text{C}$ wird kaum H_2S im Kanal erzeugt, mit steigender Temperatur nimmt die H_2S -Bildung stark zu. Die Schwefelwasserstoffemissionen sind folglich in den Sommermonaten am stärksten. In Mischwasserkanälen wird z. B. die Sulfidentwicklung durch starke Regenereignisse vermindert, da die Abwassertemperatur gesenkt, der Sauerstoffgehalt erhöht und Ablagerungen der Sielhaut entfernt werden /2/. Messungen der H_2S -Konzentration über einen längeren Zeitraum haben eine eindeutige Abhängigkeit von der Tageszeit und dem Wochentag ergeben. Die höchsten Werte wurden jeweils von 8 - 9 Uhr, 12 - 13 Uhr und 19 - 21 Uhr an Werktagen sowie generell an Wochenenden und Feiertagen gemessen (Abb. 2).

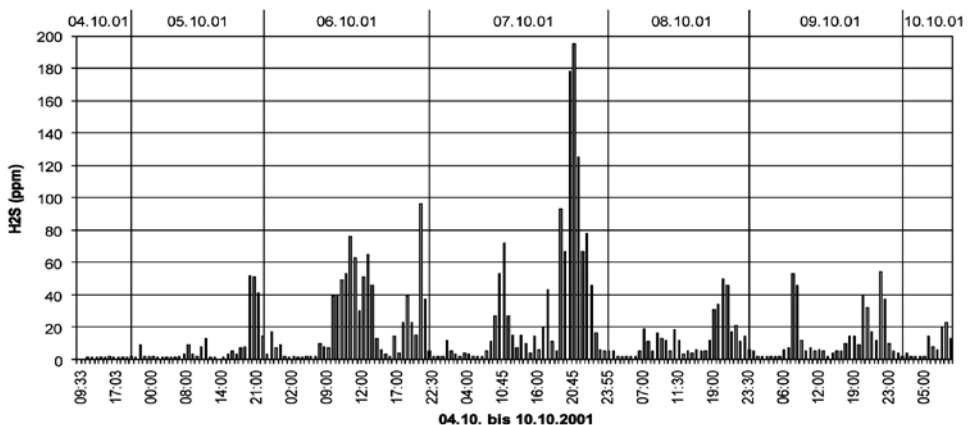


Abbildung 2: Ausgangssituation am Ende der Abwasserdruckleitung in der Ortslage Hornow

3.3 Lösungen zur Verhinderung der Entstehung von Schwefelwasserstoff in Abwasserkanalsystemen /1/

5.3.1 Bauliche Veränderungen

Eine erhöhte Sauerstoffzufuhr in das Abwasser von Freispiegelleitungen wird durch Abstürze, Schneckenhebwerke oder auch die Erzeugung turbulenter Abflussvorgänge erzielt. Durch eine Veränderung der Abwasserrohrprofile (z. B. ovaler Querschnitt) kann die Bildung von Ablagerungen effektiv verhindert werden.

Bauliche Maßnahmen kommen überwiegend beim Neubau von Abwasseranlagen zum Tragen, bestehende Anlagen umzurüsten ist meist zu kostenintensiv.

3.3.2 Sauerstoffzufuhr

Sauerstoff kann in reiner Form oder als Luft in das Kanalsystem eingebracht werden. Das Einblasen von Luft oder reinem Sauerstoff muss allerdings in großen Mengen flächendeckend erfolgen, ein großer Teil entweicht dabei ungenutzt aus dem Kanal in die Atmosphäre. Anwendbar ist dieses Verfahren nur in geschlossenen Systemen, in offenen Systemen stünde der Nutzen in keinem Verhältnis zu den Kosten.

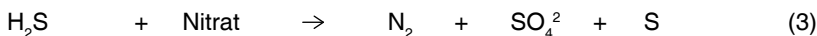
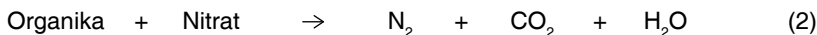
3.3.3 Einbringen von Chemikalien

Auch durch Zusatz bestimmter Chemikalien kann ein anaerobes Milieu im Kanalsystem verhindert werden.

Wasserstoffperoxid H_2O_2 z. B. zersetzt sich im Wasser und gibt dabei Sauerstoff ab. Es müssen allerdings große Mengen zugeführt werden, was wirtschaftlich kaum zu vertreten ist. Zu beachten ist außerdem das von Wasserstoffperoxid ausgehende hohe Gefahrenpotential. Durch Zugabe von Nitraten, z. B. Calciumnitrat $Ca(NO_3)_2$, wird Sauerstoff in chemisch gebundener Form ins Kanalnetz eingebracht. Dadurch wird die Ansiedlung bestimmter Bakterien begünstigt, die zweifach wirksam werden:

1. Sie sind in der Lage, bereits gebildetes H_2S zu entfernen.
2. Sie können durch Unterdrückung anderer Anaerobier Fäulnis verhindern.

Bei diesem Prozess, der Denitrifikation, entstehen Kohlenstoff und Stickstoff bei gleichzeitiger Rückoxidierung des H_2S zu Schwefel und Sulfat.



Dabei ist besonders auf die Dosierung zu achten: bei zu hoher Dosierung muss das überschüssige Nitrat in der Kläranlage wieder entfernt werden, bei zu geringer Dosierung wird das Problem u. U. nur in eine spätere Zone des Kanalnetzes verschoben. Die Wirksamkeit dieses Verfahrens hat sich in der Praxis bestätigt, es ist jedoch auch mit erheblichen Betriebskosten verbunden.

Ein Beispiel für den Einsatz von Nitraten ist die Anwendung des NUTRIOX®-Verfahrens, das auch von einigen Stadtwerken in der Lausitz erfolgreich angewendet wird.

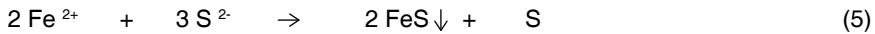
3.3.4 Verschiebung des pH-Wertes

In einem Abwasser mit $pH > 9$ liegt kein Schwefelwasserstoff mehr vor. Durch Zusatz alkalischer Produkte wird der pH-Wert des Abwassers in den basischen Bereich verschoben. Der Einsatz klassischer Laugen, z. B. Natronlauge, ist wirtschaftlich nicht vertretbar und kommt auch aus Gründen des Arbeitsschutzes und des Gewässerschutzes nicht in Frage. Als Alternative bietet sich der Einsatz von Kalk in fester Form oder als Kalkmilch an. Die richtige Dosierung ist durch einen längeren Probetrieb zu testen. Nachteilig wirkt sich bei dieser Methode die Bildung von Ammoniak aus, wenn bei diesen hohen pH-Werten Stickstoffverbindungen im Abwasser vorliegen.

3.3.5 Einsatz von Eisenverbindungen

Der im Abwasser vorhandene Schwefel kann durch Eisenverbindungen als Sulfid gefällt werden. Das Eisensulfid wird als schwarzer, schwerlöslicher Feststoff feinverteilt zur Kläranlage transportiert.

Chemie der Sulfidfällung:

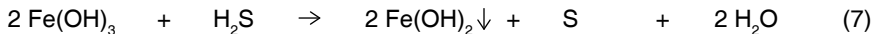


Die Fällung erfolgt durch Eisensalze, z. B. Eisenchlorid. Unproblematisch ist dieses Verfahren nicht, denn viele Eisensalze sind stark ätzend und wassergefährdend, d. h. die Dosierstellen müssen ausreichend gesichert sein, außerdem wird die Chloridfracht des Abwassers erhöht.

Fällung mit Eisenchlorid:



Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von Eisenhydroxidschlamm (EHS):



Bei der Formel $\text{Fe}(\text{OH})_3$ handelt es sich um eine vereinfachte theoretische Darstellung, tatsächlich liegt Eisenhydroxid in der Form $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ oder $\text{FeO}(\text{OH})$ – entwässert – vor. Die Sulfide führen zunächst zu einer reduktiven Auflösung des Eisen(III)-Hydroxides zu gelösten Eisen(II)-Ionen. Diese reagieren mit den gelösten Sulfiden zum Eisensulfid und werden ausgefällt.

Bei der Aufbereitung eisenhaltiger Wässer in Wasserwerken oder Grubenwasserreinigungsanlagen entstehen Eisenhydroxidschlämme. Sie sind im Gegensatz zu Eisensalzen keine Gefahrstoffe. EHS kann im rechtlichen Sinne sowohl Abwasser als auch Abfall sein und als solcher in die Abwasseranlagen eingeleitet werden. Dort wird er nach dem KrW-/AbfG als Abwasser entsorgt. Bedingung ist jedoch, dass die schlammhaltigen Wässer gezielt in die Kanalisation dosiert und nicht einfach in das Kanalnetz abgelassen werden.

Die positiven Wechselwirkungen von EHS mit Abwasserinhaltsstoffen wurden in einer mehrjährigen Forschungsarbeit bei der Hamburger Stadtentwässerung untersucht. Es zeigte sich, dass EHS ein sicheres und kostengünstiges Mittel zur Reduzierung der H_2S -Emission ist.

3.3.6 Praktische Untersuchungen des IURS e.V. zur Vermeidung der Entstehung von Schwefelwasserstoff

Vom IURS e.V. wurde der Einsatz von Eisenhydroxidschlämmen (EHS) getestet. Da der Eisengehalt der Grundwässer in der Lausitz recht hoch ist, bietet sich dieses Verfahren nahezu an. Im Oktober 2001 wurden im Abwasserkanalnetz des Spremberger Wasser- und Abwasserzweckverbandes Versuche mit EHS durchgeführt. Dazu wurde ein Messpunkt im Kanalsystem ausgesucht, der eine starke Geruchsbelästigung erzeugte. Dies war ein Kanalschacht am Ende einer Druckleitung. Messungen des Schwefelwasserstoff-Gehaltes der Kanalluft ergaben Werte bis 200 ppm H_2S (siehe Abb. 3).

In dem nur wenige Kilometer entfernten Wasserwerk fällt bei der Trinkwasser-Aufbereitung Eisenhydroxidschlamm an, der in einem Absetzbecken gespeichert und dann entsorgt wird. Dieser EHS wurde mehrmals mittels Tankwagen am Anfangsschacht einer Freispiegelleitung dem Abwasser zugegeben. Die positiven Auswirkungen der EHS-Zugabe zeigten sich nach kurzer Zeit (siehe Abb. 3). Auffällig war, dass ca. zwei Stunden nach der EHS-Zugabe der H_2S -Gehalt für einige Minuten stark anstieg, um dann anhaltend auf ein unbedenkliches Niveau um 2 ppm H_2S abzusinken.

Ursache dafür ist wahrscheinlich die einmalige Zugabe einer relativ großen Menge (14 m³) EHS-Wassers, wodurch in den Leitungen angesammeltes H_2S rasch aus dem Kanalschacht heraus getrieben wurde. Dieser Anstieg war bei allen EHS-Zugaben zu verzeichnen, jedoch auf zunehmend niedrigerem Niveau. Bei einer kontinuierlichen Dosierung sind derartige Emissionsspitzen nicht zu erwarten.

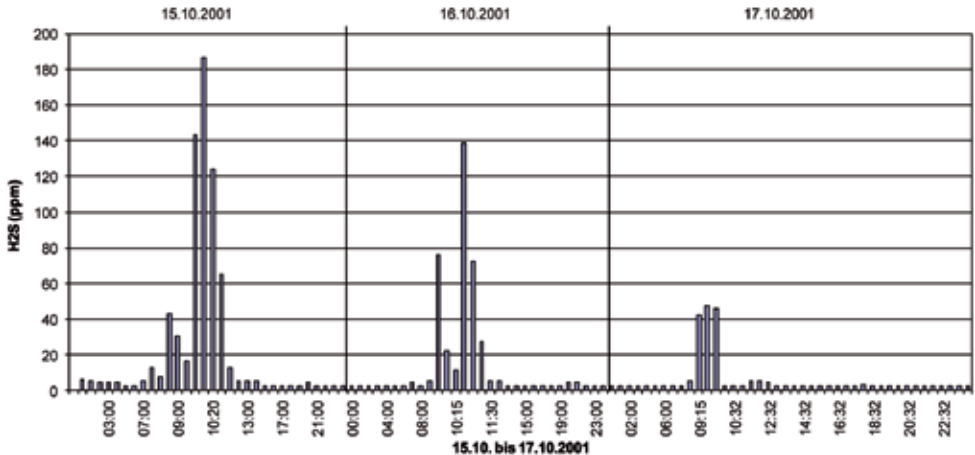


Abbildung 3: Wirkung der diskontinuierlichen EHS-Zugabe im Abwasser des SWAZ

Zum direkten Vergleich wurde im Anschluss an die EHS-Dosierung am Abwasserpumpwerk Wadelsdorf ein Tropfgefäß mit NUTRIOX® in Betrieb genommen, d. h. eine kontinuierliche Dosierung realisiert. Auch hier ist die positive Wirkung dokumentiert und unbestritten (siehe Abb. 4).

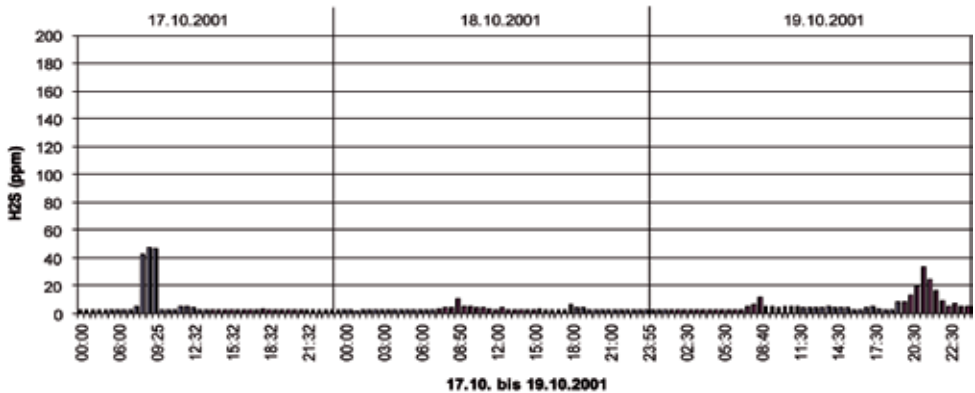


Abbildung 4: Wirkung der kontinuierlichen NUTRIOX® -Zugabe

Während bei der Anwendung des NUTRIOX® -Verfahrens erhebliche Betriebskosten zu berücksichtigen sind, fallen beim Einsatz von EHS unter der Voraussetzung günstiger örtlicher Gegebenheiten im Wesentlichen nur Transport- und Energiekosten an.

In der grafischen Darstellung Abb. 5 ist deutlich zu erkennen, dass nach Wegfall der Zudosierungen die H₂S-Emission wieder stark ansteigt.

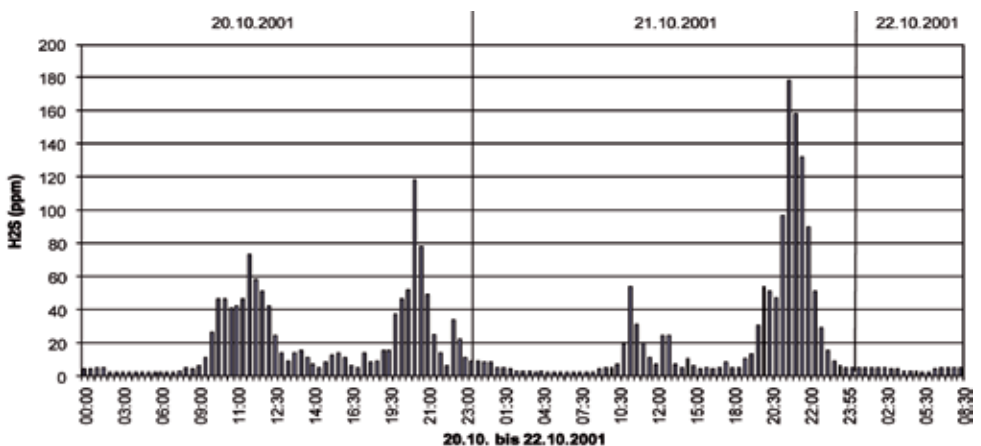


Abbildung 5: Situation nach Beendigung der EHS- und Nutriox-Zugabe

3.4 Arbeiten des IURS e.V. zur Vermeidung der Emission von Schwefelwasserstoff aus Abwasserkanalssystemen /7/

5.4.1 Biofilter

1957 wurde Richard D. Pomeroy ein US - Patent für einen Biofilter erteilt. Biofilter werden jedoch erst seit den 1970er Jahren verstärkt zum Abbau von Geruchsbelästigungen z.B. in der Landwirtschaft eingesetzt. Heute sind Flächenbiofilter verbreitet, bei denen das zu reinigende Gas in den flächenförmigen Filter eingeblasen wird. Zusätzlich sind häufig Anlagen zur Befeuchtung vorhanden./3/

Ziel des Einsatzes eines Biofilters ist die Nutzung der Stoffwechseltätigkeit von Mikroorganismen zum Abbau von Schwefelwasserstoff. Voraussetzung ist die Wasserlöslichkeit und die prinzipielle biologische Abbaubarkeit des abzubauenen Produkts. Schwefelwasserstoff erfüllt diese Forderungen.

Die Ursache der H_2S -Entstehung wird durch den Einsatz eines Biofilters jedoch nicht beseitigt. Mit einem Biofilter ist es nur möglich, die H_2S -Konzentration in der dem Biofilter zugeführten Luft (Rohgas) zu verringern.

Der Biofilter wirkt absorptiv d.h., die Moleküle dringen ins Innere der Nachbarphase ein; der Vorgang beschränkt sich im Gegensatz zur Adsorption nicht auf die Oberfläche.

Die hier betrachtete Anwendung als Kanalschachtbiofilter nutzt die gleichen biochemischen Prinzipien eines herkömmlichen Biofilters mit folgenden Randbedingungen /4/:

- Zuführung von Rohgas erfolgt ausschließlich durch die Kaminwirkung im Abwasserkanalschacht
- Eine zusätzliche Befeuchtung ist i.d.R. nicht möglich
- Die Konzentration des abzubauenen Gases im Rohgas schwankt abhängig vom Abwasseraufkommen und -zusammensetzung sowie von den klimatischen Bedingungen (Luftdruck, Temperatur)

Organische Filtermaterialien sind nicht nur Sorptionsfläche für die Abluftinhaltsstoffe und Aufwuchsoberfläche für die Mikroorganismen - Population, sondern sie dienen auch als Nährstoffreservoir und sie besitzen Wasserhalte- und Pufferkapazität. Um ein Ansteigen der Druckdifferenz zu verhindern und um lange Standzeiten des Filters zu erzielen, ist die Strukturstabilität der Schüttung von großer Bedeutung. Das Schüttmaterial sollte widerstandsfähig gegenüber mikrobieller Zersetzung sein (d.h. möglichst geringe Eigenkompostierung). Ausreichender und gleichmäßig verteilter Porenraum und stabile Porenstruktur sind für die homogene Durchströmung und für die Drainagekapazität der Schüttung essenziell.

Eine häufig verwendete Biofilterschüttung ist ein Gemisch aus Kokosfaser und Fasertorf. Der Kokosfaseranteil ist hierbei die strukturgebende Komponente, die für die mechanische Stabilität der Schüttung, für geringen Druckverlust und für gute Drainageeigenschaften sorgt. Die Kokosfaser hat ein sehr geringes Wasserhaltevermögen. Der Fasertorfanteil des Materialgemisches dagegen dient als Nährstoffreservoir und besitzt Wasserhalte- und Pufferkapazität.

3.4.2 Nährstoffansprüche und Wachstumsbedingungen von Mikroorganismen

5.4.2.1 Wasser

Da nur die in der Wasserphase des Biofilms gelösten Stoffe für die Mikroorganismen verfügbar sind, spielt das Wasser eine zentrale Rolle. Die homogene Durchfeuchtung des Filterbeetes ist sicherlich der wichtigste und kritischste Parameter für das Funktionieren eines Biofilters. Austrocknungszonen im Biofiltermaterial sind stoffwechselinaktive Zonen – hier findet kein oder nur geringer Schadstoffabbau statt.

3.4.2.2 Sauerstoff

Neben Wasser ist Sauerstoff essenziell für den oxydativen Stoffwechsel der Mikroorganismen. Die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen im Biofilter ist in der Regel unproblematisch, da mit dem Rohgasstrom kontinuierlich auch Sauerstoff zugeführt wird.

Unzureichende Sauerstoffkonzentrationen können jedoch in lokalen Übersättigungszonen auftreten: Wird der Biofilter durch zu viel Nässe oder durch mikrobielle Schleimbildung zu dick, kann nicht mehr genügend Sauerstoff ins Innere des Biofilms nachdiffundieren. Die aerobe Mikroorganismen - Population stirbt an dieser Stelle ab und anaerob lebende Mikroorganismen können sich ansiedeln, so dass es zu Gärungs- und Fäulnisprozessen kommt.

3.4.2.3 Nährstoffansprüche von Mikroorganismen

Neben Wasser und Sauerstoff benötigt der mikrobielle Stoffwechsel die Makroelemente Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor, ferner schwefelhaltige Verbindungen sowie verschiedene Mineralsalze und Spurenelemente in einem ausgewogenen Verhältnis.

3.4.2.4 Wasserstoffionenkonzentration (pH-Wert)

Die meisten Bakterien bevorzugen einen neutralen bis leicht alkalischen pH-Wert.

Organische Biofiltermaterialien wie Kompost oder Fasertorf besitzen Pufferkapazität, können also pH-Schwankungen innerhalb gewisser Grenzen ausgleichen. Einige mikrobielle Stoffwechselprozesse beeinflussen jedoch den pH-Wert in der Biofilterschüttung.

Diese Endprodukte der mikrobiellen Oxidation akkumulieren im Biofilter, was mit der Zeit zur Übersäuerung der Materialschüttung führen kann. Als Gegenmaßnahmen bzw. Alternativen kann bei stark ammoniak- und schwefelwasserstoffhaltigem Rohgas die periodische Spülung der Materialschüttung oder die Verwendung eines Tropfkörpers oder Biowäschers in Erwägung gezogen werden. /4/

Der optimale d.h. tolerierbare pH - Bereich weist bei den einzelnen Organismen beträchtliche Unterschiede auf. Einige Thiobacillen leben und oxidieren H_2S zu SO_4 sogar im stark sauren Bereich.

Wachstum und Stoffwechsel der Mikroorganismen führen jedoch zwangsläufig immer wieder zu Veränderungen im pH-Wert des Mediums. /5/

3.4.2.5 Temperatur

Das Temperaturoptimum der meisten Boden- und Wasserbakterien liegt im mesophilen Bereich, d.h. bei ca. 20 - 35°C. Mikrobielle Abbauprozesse finden jedoch auch noch bei tieferen Temperaturen (< 10°C) statt: Große offene Flächenfilter sind i.d.R. auch im Winter funktionsfähig.

3.4.3 Der Abbau anorganischer Substanzen

Autotrophe Bakterien gewinnen ihre Energie durch die Oxidation anorganischer Substanzen, z.B. NH_3 oder auch H_2S , wobei sie den zu ihrem Wachstum erforderlichen Kohlenstoff in Form von CO_2 in ihren Stoffwechsel einbringen.

Schwefelverbindungen werden nur durch wenige Bakteriengattungen, so z.B. Vertreter der chemolithotrophen und der fadenförmigen Bakterien oxidiert /6/:



Es handelt sich um eine exotherme Reaktion, d. h., es wird Energie frei. Diese Energie nutzt die Zelle. Die nicht genutzte Energie wird an die Umgebung abgegeben und erwärmt damit z.B. das Filtermaterial.

Die Abluft verlässt den Biofilter meist nicht wasserdampfgesättigt. Praktische Messungen in einer Vielzahl von Versuchen haben ergeben, dass die relative Feuchte je nach Temperatur zwischen 75 % und 90 % lag.

An heißen Sommertagen kann die dann einsetzende starke Oberflächenverdunstung eine zusätzliche Bewässerung der Filteroberfläche erforderlich machen. /3/

3.4.4 Einschränkungen durch die Anwendung als Kanalschachtbiofilter

Die Wirkung des Kanalschachtbiofilters wird auf die Jahreszeiten mit Temperaturen $> 10^\circ\text{C}$ beschränkt bleiben, da unter 10°C sowohl der H_2S – Abbau durch Mikroorganismen als auch die H_2S – Bildung im Abwasserkanal stark zurückgeht.

Ein vollständiger Abbau des H_2S erfolgt nicht.

Unter Umständen ist es sinnvoll, zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen der Bevölkerung den Kanalschacht abzudichten und die H_2S -mindernde Wirkung zur Verringerung der Korrosion im Schacht zu nutzen.

Eine zusätzliche Befeuchtung (manuell oder automatisch) des Biofilters ist nicht oder nur schwer realisierbar. Aus diesem Grund sind eine gute Wasserspeicherfähigkeit des Filtermaterials und eine hohe Luftfeuchtigkeit der Kanalabluft zu gewährleisten.

3.5 Einsatz von Braunkohleprodukten im Biofilter

Auf Initiative der Vattenfall Europe Mining AG untersuchte das IURS e.V. im Zeitraum 2004 - 2008 Xylit die Eignung von Xylit und Braunkohleveredlungsprodukten als Filtermaterial für Biofilter zum Abbau von Schwefelwasserstoff.

Xylit ist eine Besonderheit in den „jungen“ Braunkohlen des Lausitzer Reviers. Es entstand vor 15 - 20 Millionen Jahren aus der Vegetation der Lausitzer Sumpfwälder. Es handelt sich um einen faserigen, holzartigen Stoff, welcher nicht vollständig vom Inkohlungsprozeß erfasst wurde. Xylit unterteilt man je nach steigendem biochemischen Inkohlungsgrad in mumifiziertes Holz, zellulosereicher Xylit, zellulosearmer Xylit und Strukturxylit.

Bei dem im Versuch verwendeten Material handelt es sich um zellulosereichen- und zellulosearmen Xylit. Die allgemeinen Eigenschaften wie Wasserspeicherfähigkeit und niedriger Salzgehalt machen Xylit geeignet als Trägermaterial für Mikroorganismen.

Das für die Untersuchungen verwendete Xylit hat folgende Eigenschaften:

Körnung: 0 - 40 mm

Schüttdichte: 280 - 380 kg/m³

Wassergehalt: 45 - 55 Massen.-%

pH-Wert: 4,5 - 5

Weiterhin wurde die Eignung folgender Braunkohlenprodukte untersucht:

Braunkohlenstaub mit einer Körnung von < 0,25 mm

Braunkohlen - Pellets

Braunkohlen - Granulat

Wirbelschichtkohle

Diese Produkte haben etwa folgende Eigenschaften:

Schüttdichte: ca. 500 Kg / m³

Wassergehalt: ca. 10 - 20 Massen.-%

pH-Wert: 4,5 - 5,5

3.6 Laborversuche

Im Laborversuch wurde zunächst der Durchströmungswiderstand der Filtermaterialien in Abhängigkeit von der Schichthöhe untersucht. Erwartungsgemäß ist der Durchströmungswiderstand der Stoffe mit kleiner Körnung, Braunkohlestaub und Wirbelschichtkohle, relativ hoch. Xylit, Braunkohlepellets und Braunkohlegranulat besitzen dagegen nur einen relativen kleinen Durchströmungswiderstand.

3.7 Versuche im Klärwerk und Abwasserkanalnetz

Um einerseits realitätsnahe Versuchsbedingungen sicherstellen zu können und andererseits Störeinflüsse möglichst zu verringern, wurde ein Biofiltertestaufbau im Klärwerk des SWAZ in Spremberg aufgebaut.

In den Testaufbau wurde mit konstantem Druck und Volumenstrom die Abluft aus dem Rechenwerk des Klärwerkes eingeblasen.

Die Abluft wies einen H₂S - Gehalt von bis zu 100 ppm auf.

Im Testaufbau des Biofilters wurden gemessen und zyklisch gespeichert:

H₂S - Konzentration der Zuluft (Rohgas)

Rohgastemperatur

H₂S - Konzentration am Ausgang des Biofilters n der Oberfläche der Filterschicht

Temperatur in Filtermaterial

Weiterhin wurden im Abstand von 2 bis 4 Wochen Proben des Filtermaterials auf den Schwefel- und Wassergehalt sowie den pH-Wert untersucht.

Bei der Analyse dieser Ergebnisse zeigte sich, dass im Biofilter mit Xylit als Filtermaterial H₂S abgebaut wird, aber auch das der Wassergehalt des Filtermaterials sinkt. Beispielhaft sind hier die Messwerte aus dem Zeitraum 19.06.2006 - 04.07.2006 dargestellt.

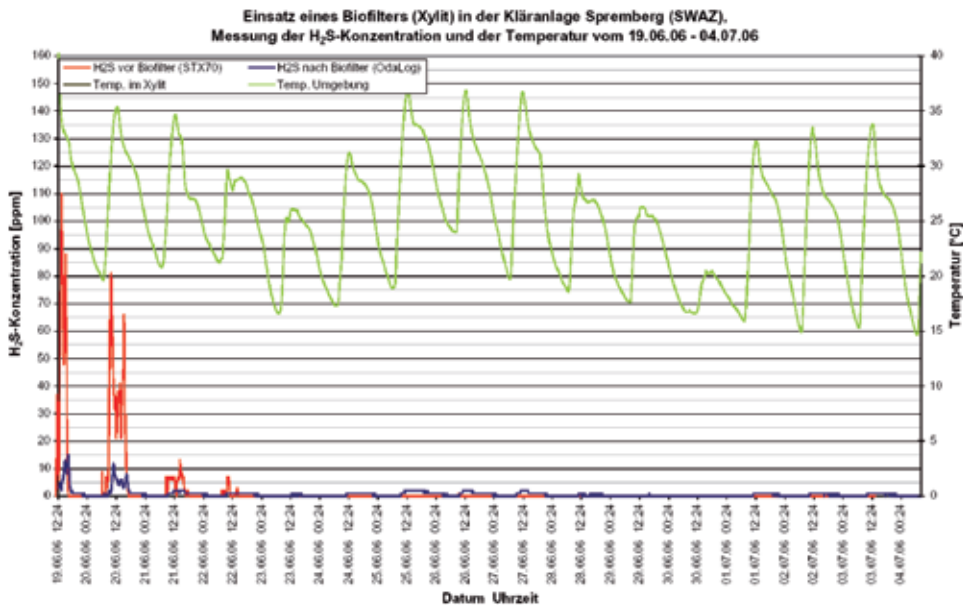


Abbildung 6: Schwefelwasserstoffkonzentration bei Einsatz von Xylit im Biofilter

Weitere Untersuchungen mit dem Filtermaterial Xylit im Einsatz in einem Kanalschachtfilter-einsatz eines Fremdherstellers zeigten, dass im Sommer während längerer Trockenperioden das Filtermaterial austrocknet und damit die Wirksamkeit des Filters gerade im Zeitraum mit für die Bildung von H₂S günstigen Bedingungen zurückgeht. (Abb. 7)

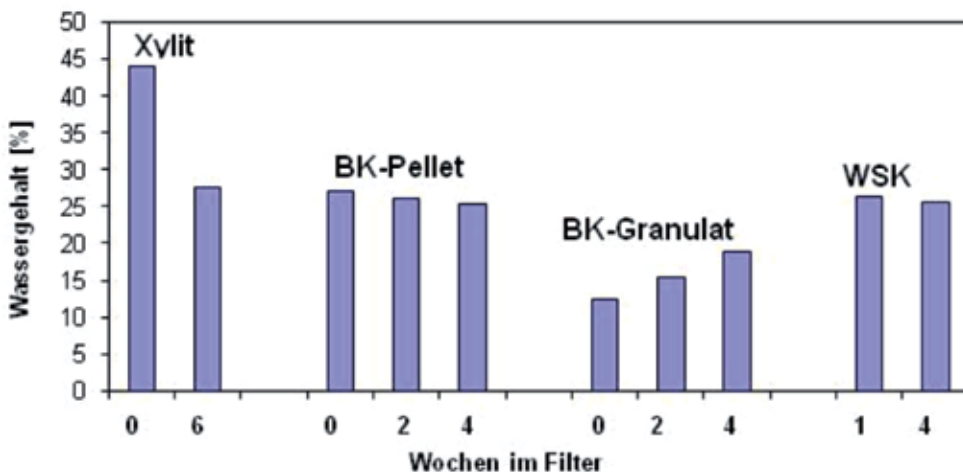


Abbildung 7: Veränderung des Wassergehaltes des Filtermaterials bei Einsatz im Biofilter

Die weiteren Arbeiten konzentrierten sich neben dem weiteren Einsatz des Biofilters im Abwasserkanalschacht auf die Vermeidung der Austrocknung des Filtermaterials während längerer Trockenzeiten.

Herkömmliche Vorrichtungen zum Einsatz von Biofiltern an Abwasserkanalschächten leiten das bei Regen durch den Kanaldeckel eindringende Regenwasser durch einen Trichter am Filtersubstrat vorbei in den Abwasserkanal.

Von den Projektbearbeitern des IURS e.V. wurde die Idee entwickelt, das eindringende Regenwasser zwar am Filtersubstrat vorbeizuleiten aber trotzdem zur Befeuchtung des Filters zu nutzen.

Hierzu wird es in einem Behälter unterhalb des Filters gesammelt und über textile Seile unter Nutzung der Kapillarwirkung in das Filtersubstrat geleitet.

Zum Test dieser Anordnung wurde der Kanalschachtfiltereinsatz eines Fremdanbieters modifiziert und im Abwasserkanalnetz des SWAZ in Spremberg eingesetzt. Durch Messungen konnte die Wirksamkeit dieses Verfahrens bestätigt werden.

Das Verfahren wurde zum Patent angemeldet und es wurde inzwischen erteilt.

3.8 Untersuchung der Wirkung von Biothys – Gelmatten zur Verringerung der H_2S -Konzentration in Abwasserkanalschächten

Im Auftrag der CVB Albert Carl GmbH & Co KG Berlin wurden vom IURS e.V. im September 2004 Gelmatten vom Typ Gelactiv SHK – HE zur Beseitigung von Schwefelwasserstoff getestet.

Diese Gelmatten bestehen aus einem Metallgitter in der Größe DIN A4 als Trägermaterial in das ein Gel eingebettet ist. Dieses Gel emittiert Substanzen durch welche mit dem in der Umgebungsluft enthaltene Schwefelwasserstoff reagiert und damit die Schwefelwasserstoffkonzentration verringert wird.

Die genaue chemische Zusammensetzung bzw. eine Beschreibung der chemischen Prozesse wurde vom Auftraggeber nicht übermittelt.

Diese Gelmatten wurden vom IURS e.V. an Abwasserkanalschächten mit hoher H_2S – Emission im Netz des SWAZ im Spremberg eingesetzt und die H_2S -Konzentration der Umgebungsluft vor und nach den Gelmatten aufgezeichnet.

Die Lufttemperatur während der Messungen betrug zwischen 25°C (tagsüber) und 5°C (nachts). Es konnte eine signifikante Verringerung der H_2S –Konzentration nachgewiesen werden. (Abb. 8)

Nicht untersucht wurde die Wirkungsdauer der Gelmatten.

Diese Gelmatten verringern lediglich bereits vorhandenen Schwefelwasserstoff. Sie verhindern also nicht die Ursache – die Bildung von Schwefelwasserstoff. Aufgrund des relativ hohen Preises der Gelmatten wird der Einsatz in Abwasserkanalsystemen punktuell auf Bereiche beschränkt bleiben an denen eine Belästigung von Anwohnern oder Passanten verhindert oder beseitigt werden soll.

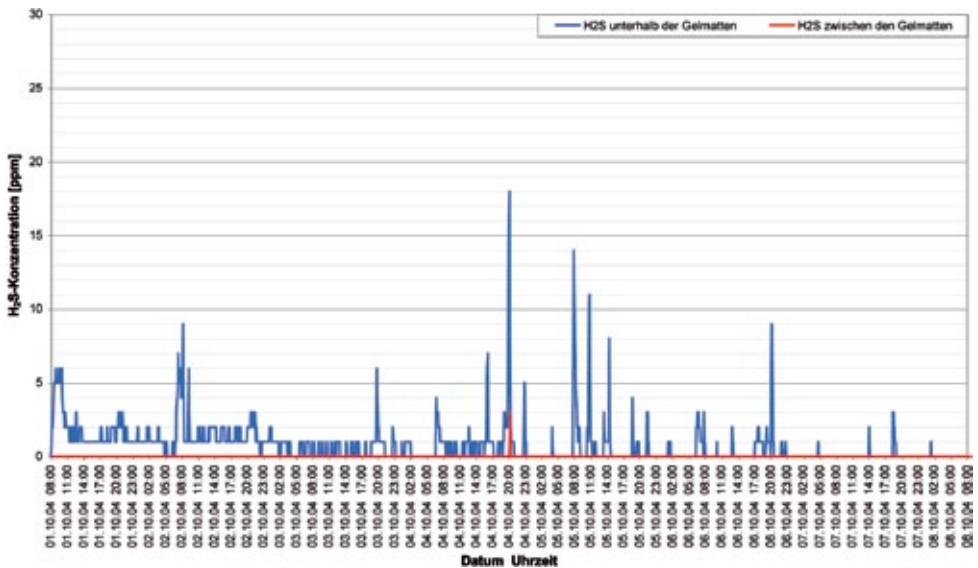


Abbildung 8: H_2S -Konzentration im Abwasserkanalschacht vor und nach den Gelmatten

Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Verfahren und Technologien vorgestellt, die sich die Geruchsbekämpfung und Korrosionsvermeidung zum Ziel gesetzt haben. Einige Verfahren zeigen in speziellen Fällen durchaus positive Wirkungen, bringen aber bei anderen Anwendern kaum Erfolge. Berücksichtigt werden müssen neben einer universellen sicheren Anwendbarkeit des Verfahrens unbedingt auch wirtschaftliche Aspekte sowie Fragen des Arbeitsschutzes und des Gewässerschutzes.

Das Verfahren der EHS-Zugabe ist geeignet, weiter verfolgt zu werden. Die mehrfach erwiesene praktische Wirksamkeit von EHS muss zu einem brauchbaren Verfahren umgesetzt werden, um Aussagen treffen zu können hinsichtlich der Konzentration und Zusammensetzung des eingesetzten EHS der Art der belasteten Abwässer. Um die EHS-Dosierung optimal den gegebenen Abwasser-Bedingungen anzupassen, muss die zeitliche Zugabe des EHS zuverlässig gesteuert werden.

Inzwischen wird das EHS – Verfahren im Abwasserkanalnetz des SWAZ praktisch eingesetzt. Verfahren zur Verringerung der Emission von H_2S aus Abwasserkanalschächten sind zwar wirksam und z.T. kostengünstig, beseitigen jedoch nicht die Ursache der H_2S – Entstehung und bekämpfen nicht die kostenträchtigste Wirkung von H_2S – die Korrosion der Abwasserkanäle.

Literatur

- /1/ Metzing, P. und Fritzsche, Ch.: „Geruch im zentralen Abwasserskanalsystem – Ursachen und Bekämpfung“, Wassersymposium „Geruch und Korrosion in Entwässerungsnetzen“, Hochschule Lausitz (FH), Band 9 (2002), S. 81-97
- /2/ ATV-Regelwerk Merkblatt ATV-DVWK-M 154 „Geruchsemissionen aus Entwässerungssystemen – Vermeidung oder Verminderung“
- /3/ Kobelt, G.: „Biologische Abluftreinigung: Grundlagen – Planung – Betrieb“, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995
- /4/ Fetzner, S., Roth, M., Schöffmann, H., „Biologische Abluftreinigung im Biofilter: Mikrobiologische Aspekte“, in: Margesin, R. (Hrsg.): „Praxis der biotechnologischen Abluftreinigung“, Springer – Verlag, Berlin, 1996
- /5/ Bardtke, D.: „Biologische Abluftreinigung“, Kontakt und Studium, Band 212, S. 10 –11; expert Verlag, Ehningen, 1990
- /6/ Buchmannu. Gibbons: „Bergey’s manual of determinative bacteriology“, Baltimore, 1974
- /7/Scholze, R.: „Untersuchung zur Anwendbarkeit von Braunkohlenprodukten in Kanalschachtbiofiltern“, Diplomarbeit Fachhochschule Lausitz, Senftenberg, 2007
- /8/ Metzing, P., Bürger, A.: „Untersuchungen zum Einsatz von Braunkohleprodukten in modifizierten Biofiltern“, Abschlussbericht, Vattenfall Europe Mining AG, IURS e.V., Senftenberg, 2008

4. UNTERSUCHUNGEN ZUR SCHALL-DÄMPFUNG VON STAHLMANTELTRAGROLLEN AN HOCHLEISTUNGSGURTFÖRDERANLAGEN IN ABHÄNGIGKEIT VON KONSTRUKTIVEN PARAMETERN

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Stephan Hernschier, Hochschule Lausitz (FH)

Dipl.-Geophys. Dirk Täschner, Vattenfall Europe Mining AG

Prof.-Dr.-Ing. Peter Biegel, Hochschule Lausitz (FH)

4.1 Einleitung

Die Minderung der Geräuschemission von Hochleistungsgurtförderanlagen in Tagebauen stellt in Verbindung mit höheren Anforderungen des Umweltschutzes und der Akzeptanz bei der Bevölkerung ein Problem dar. Zum einen gilt es Mensch und Umwelt vor Lärm zu schützen und zum anderen ist es für den Betreiber schwierig, die Auflagen für den Betrieb solcher Anlagen zu erfüllen. Untersuchungen haben gezeigt, dass Tragrollen die Hauptschallquellen dieser Gurtförderanlagen sind. Der Einfluss der Konstruktion bzw. der Geometrie einer Tragrolle auf deren Schallemission ist bei der Auswahl von geeigneten Rollen von Bedeutung. Ein Anschlagsversuch ermittelt die Eigenschwingung mit bestimmenden Frequenzen und das Abklingverhalten von Tragrollen. Diese Daten ermöglichen eine Aussage über das akustische Verhalten einer Tragrolle. Der Vergleich der Ergebnisse bietet Rückschlüsse und Hinweise auf schallemissionsarme Geometrie und Konstruktionsweisen.

4.2 Grundlagen

Mechanismen der Schallentstehung

Die Mechanismen der Schallentstehung und -abstrahlung an Tragrollen kann man mit Hilfe von einfachen Schallsendern, welche mechanische Schwingungen ausführen, darstellen. Schallsender sind stark vereinfachte Strukturen, welche zu Eigenschwingungen angeregt werden können, die wiederum in der umgebenden Luft Schallwellen mit der gleichen Frequenz erzeugen. Dabei spielen die Eigenfrequenzen eine wichtige Rolle.¹

Betrachtet man eine Tragrolle so, kann man zwei grundlegende Schwingformen der Tragrolle bzw. des Tragrollenmantels annehmen. Zum einen die Schwingung axial über die Mantellänge und zum anderen in Umfangsrichtung. Beide Schwingformen treten am Tragrollenmantel sowohl allein als auch in Überlagerung auf. (Abb. 1)

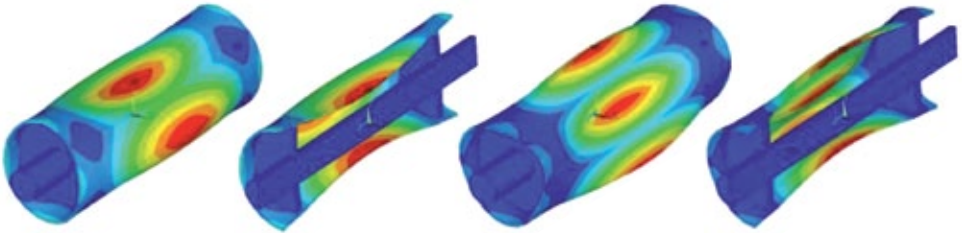


Abbildung 1: Schwingformen am Tragrollenmantel - Modalanalyse (2)

Dabei sind die Eigenfrequenzen von der Geometrie der Tragrolle abhängig. Veränderungen von Größen wie Mantellänge oder Manteldicke führen zu einer Verschiebung der Eigenfrequenzen.

Dämpfung

Unter Dämpfung versteht man die Umwandlung von Schwingungsenergie in eine andere Energieform. Einem schwingenden System wird Energie entzogen, so dass die Amplituden freier Schwingungen mit der Zeit exponentiell abnehmen und erzwungene Schwingungen endlich bleiben. Darum ist die Dämpfung in der Maschinenakustik ein grundsätzlich wünschenswerter Effekt. Man unterscheidet in Dämpfung von Luftschall auf seinem Ausbreitungsweg (Absorption) und in Dämpfung von Körperschall. Für den Anwendungsfall Tragrolle ist hauptsächlich die Körperschalldämpfung von Bedeutung.³

Die Umwandlung mechanischer Schwingungen geschieht im Wesentlichen durch folgende Effekte²:

- Die innere Dämpfung eines Werkstoffes
- Fugendämpfung an konstruktionsbedingten Fugen von Bauteilen (Lagersitze, Welle-Nabe-Verbindungen)

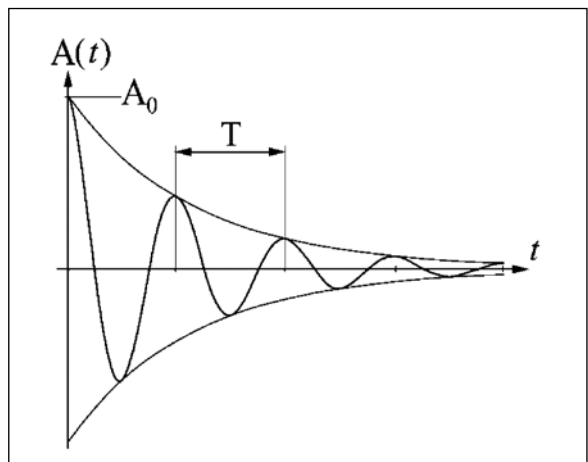


Abbildung 2: Gedämpfte Schwingung

4.3 Anschlagsversuch

Versuchsaufbau

Beim Anschlagsversuch wird der Tragrollenmantel mit Hilfe einer Stahlkugel angeschlagen. Mit diesem mechanischen Impuls werden Schwingungen des Mantels in seinen Eigenfrequenzen angeregt. Der dabei entstehende bzw. abgestrahlte Luftschall wird von einem Mikrophon aufgenommen und zur weiteren Verarbeitung gespeichert. (Abb. 3)

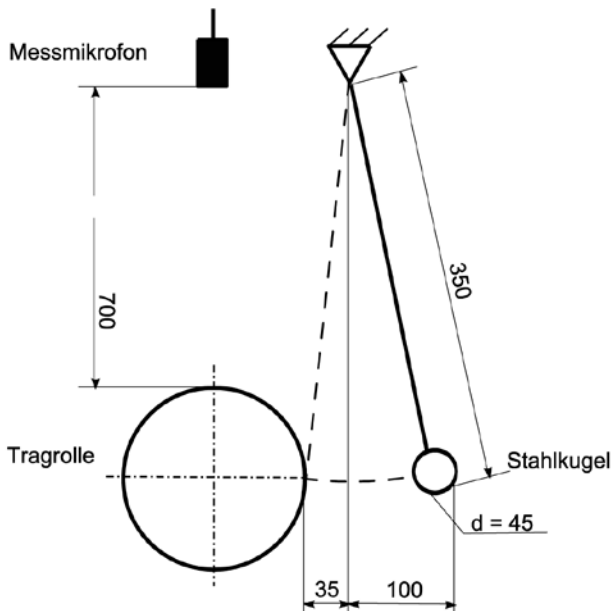


Abbildung 3:
Prinzipskizze des Versuchsaufbaus (4)

Das Pendel soll den Tragrollenmantel in der Ausschwingbewegung anschlagen um ein mehrfaches Anschlagen (Prellen) der Stahlkugel zu vermeiden. Der Anschlag erfolgt in der Mitte des Tragrollenmantels.

Auswertung

In der Auswertung werden aus dem aufgenommenen Luftschall zwei Größen ermittelt:

- Frequenzspektrum mittels FFT-Analyse
- Abklingwerte

Durch die Frequenzanalyse können die Eigenfrequenzen der angeschlagenen Tragrolle ermittelt werden. (Abb. 4)

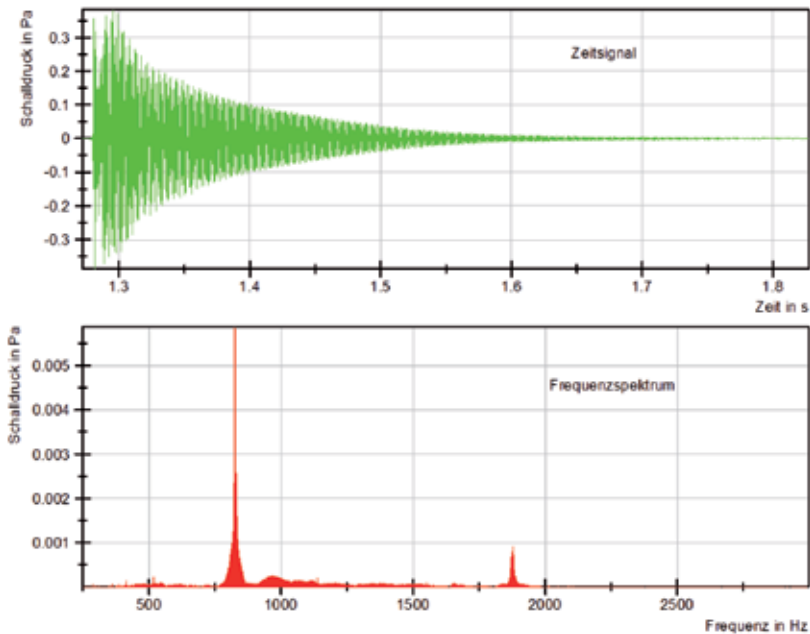


Abbildung 4:
Frequenz-
analyse einer
Tragrolle (4)

Das Abklingverhalten einer Tragrolle wird in diesem Versuch als ein Verhältnis von Schalldruckpegelabfall über der Zeit beschreiben. Dafür wird zuerst eine Effektiv-Bewertung des aufgenommenen Zeitsignals durchgeführt. (Abb. 5)

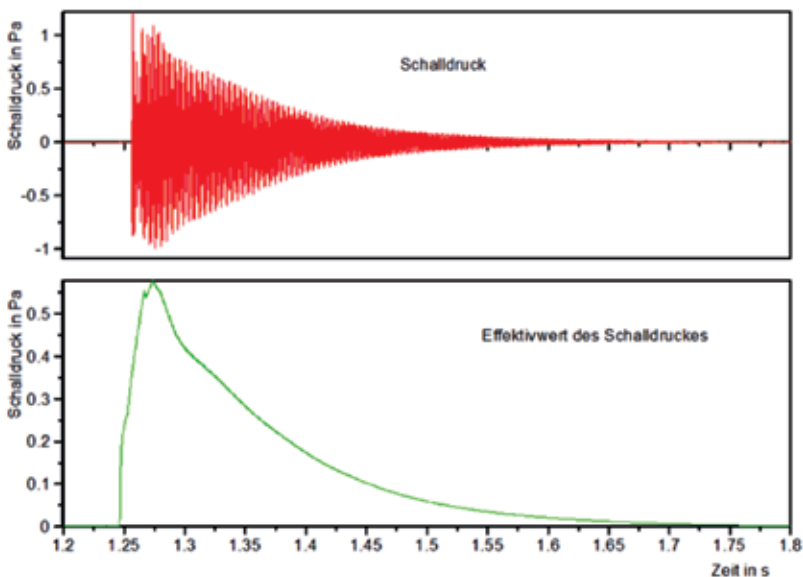


Abbildung 5:
Effektivwert des
Schalldrucks (4)

Aus dem bewerteten Signal wird nun der Abklingwert ermittelt. Dafür wird die Differenz zwischen dem maximalen Schalldruckpegel und dem nach einer definierten Abklingzeit erreichten Schalldruckpegel bestimmt. Für diesen Versuch wurde eine Abklingzeit von 0,1 Sekunde definiert. Das entspricht für einen typischen Anwendungsfall einer Tragrolle dem Zeitraum einer Umdrehung und somit bei einer Anregung je Umdrehung dem Zeitraum zwischen zwei Anregungen.

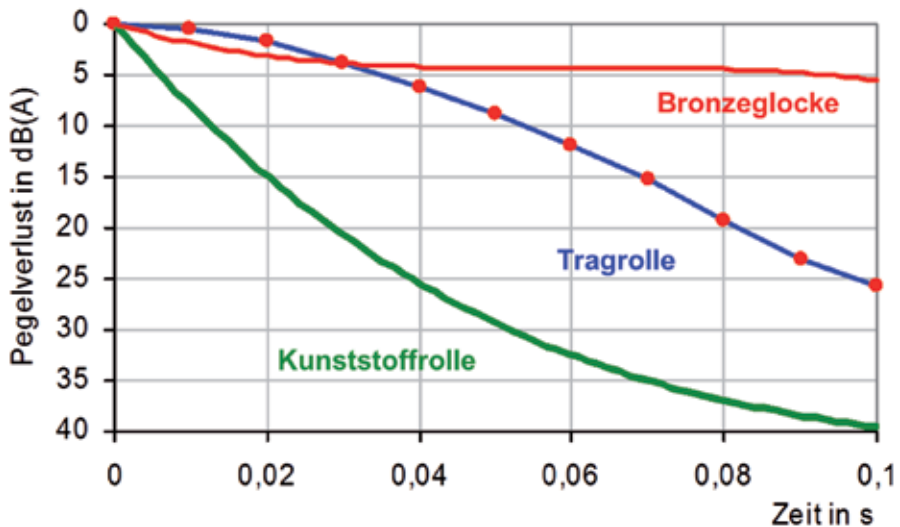


Abbildung 6: Abklingwerte (5)

Abbildung 6 zeigt ausgewählte Abklingwerte. Dabei spricht ein höherer Abklingwert für eine höhere Dämpfung und somit bei vergleichbarer Anregung für ein besseres akustisches Verhalten der Tragrolle.

Fazit

Der Anschlagsversuch ermöglicht es, Informationen über das akustische Verhalten einer Tragrolle zu erhalten. Grundlegende Zusammenhänge zwischen Geometrie, Abklingverhalten und Eigenfrequenzen können dargestellt werden und liefern Grundlagen für weitere Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

- ¹ Sinambari G. R., Henn H. & Fallen M.: Ingenieur Akustik, Vieweg & Teubner, Wiesbaden, 2008
- ² Käso R.: FE-Berechnung Leitrolle, Hochschule Lausitz (FH), Senftenberg, 2009
- ³ Kollmann F., Schösser T. & Angert R.: Praktische Maschinenakustik, Springer, Berlin, 2006
- ⁴ Herschier S.: Untersuchungen zur Schalldämpfung von Stahlmanteltragrollen an Hochleistungsgurtt Förderanlagen in Abhängigkeit von Konstruktiven Parametern, Hochschule Lausitz (FH), Senftenberg, 2009
- ⁵ Täschner D.: Info Datenblatt Tragrollenprüfstand, VEM AG, Cottbus, 2011

5. DIE ZUSAMMENARBEIT DER VATTENFALL EUROPA MINING AG MIT DEM IURS ZUR THEMATIK MINIMIERUNG VON STAUB- UND LÄRMEMISSIONEN IM BERGBAU

Dipl.-Ing. Helmut Glass, Vattenfall Europa Mining AG

5.1 Einleitung

Die Vattenfall Europe Mining AG bzw. deren Rechtsvorgängerin LAUBAG AG ist ein Gründungsmitglied und Partner des IURS e.V. und unterhält zahlreiche projektbezogene Geschäftsbeziehungen zu verschiedenen Fachbereichen des Instituts.

Grundsätzlich ergeben sich Zusammenarbeiten aufgrund von erhöhten Anforderungen im Umweltschutz und Anlagenoptimierung hinsichtlich Effizienz, Arbeitssicherheit und Verbesserung der Auslastung und Lebensdauer von Anlagenkomponenten im Tagebaubereich und den damit verbundenen Anlagen und Fördersystemen der Vattenfall Europe Mining AG.

In den mittlerweile 15 Jahren des Bestehens des IURS e.V. wurden beispielsweise Projekte zur konkreten Anwendung und Fragestellungen in Mess- und Automatisierungstechnik, Anlagen- und Fördertechnik und der Ver- und Entsorgungstechnik umgesetzt, aber auch Forschung in der Minderung von Umweltauswirkungen, hervorgerufen durch den Tagebaubetrieb, betrieben. Dies führte und führt zu neuen Erkenntnissen beispielsweise in der Minderung von Staubabwehungen von Tagebauflächen oder der Lärmreduzierung an Förderanlagen zum Transport von Abraum und Kohle im Tagebau.

Neben zahlreichen erfolgreichen Kooperationen beispielsweise bei der Entwicklung einer automatischen Steinerkennung an Schaufelradbaggern, die zur Erhöhung der Arbeitssicherheit und dem Schutz des eingesetzten Materials dient, oder der Entwicklung eines Braunkohle-basierten Xylolithartigen Biofilters sollen im folgenden zwei konkrete Projekte vorgestellt werden, die in Zusammenarbeit von dem IURS e.V. und der Vattenfall Europe Mining AG, geplant und durchgeführt wurden:

5.2 Studie zur Bewertung von Verfahren zur Oberflächenbefestigung im Tagebaubereich

Die Studie diente der Untersuchung von Methoden zur Staubbinding auf offen liegenden Kippenflächen von Braunkohletagebauen im Lausitzer Revier. Biologische Minderungsmaßnahmen wie z.B. die Begrünung von freiliegenden Kippenflächen und Trennebenen im Vorschrittbereich sind aus verschiedenen Gründen nicht überall anwendbar. Dies liegt einmal an für mobile Technik unzugänglichen Bereichen wie Böschungen und Randschläuchen, aber auch teilweise am Kippsubstrat selbst, dass unter bestimmten Umständen nur unzureichend kulturfähig ist. Häufig liegen größere Kippenbereiche, insbesondere die Innenkippe



der Abraumförderbrücken, auch aus technischen und zeitlichen Gründen längere Zeit ohne kulturfähige Überdeckung durch den nachrückenden Absetzerbetrieb frei und bieten der Winderosion Angriffsflächen. Hier setzte die Überlegung an, oberflächennahe Bodenpartikel durch Verklebung der Bodenoberfläche an der Abwehung zu hindern und somit die Staubbimmission in umliegende Ortschaften schon im Ansatz der Entstehung zu beeinflussen (Abbildung 2).



Abbildung 1:
Randschlauch Merzdorf (Tgb. Cottbus-Nord)



Abbildung 2:
Oberflächenverklebung und Krustenbildung

Ziele der Studie:

- Klärung der Eignung von verschiedenen Staubbindemitteln
- Art und Dauer der Anwendung zur Optimierung der Wirksamkeit und Beständigkeit der Oberflächenverklebung
- Auswahl des optimalen Bindemittels hinsichtlich Bodenart/ Bodenstruktur, Oberflächenrelief, Bodensubstratzusammensetzung

Des Weiteren wurde untersucht, ob die Zugabe von Saatgut je nach vorhandenem Kippsubstrat den Effekt der Erosionsbehinderung verbessern kann.

5.3 Praktische Umsetzung

Konkretes Einsatzgebiet zur praktischen Anwendung verschiedener Staubbindemittel war der Randschlauch im Bereich der Ortslage Merzdorf im Tagebau Cottbus-Nord (Abbildung 1) im Jahr 2004. Hier wurden mittels Helikopter unterschiedliche Verklebungsmischungen in flüssiger Form mit und ohne Saatgut auf vorher analysierte Kippenflächen aufgetragen (Abbildung 3). Die behandelten Flächen wurden anschließend einem regelmäßigen Monitoring unterzogen, um die Wirkung und die Lebensdauer der entstanden verkrusteten Oberfläche zu untersuchen. Als Vergleichsfläche diente eine Fläche im Ablaschungsbereich Heinersbrück des Tagebaus Jänschwalde, wo keine Verklebung sondern eine konventionelle Grundmellioration mit anschließender Ansaat durchgeführt wurde.

Abbildung 3:
Helikoptereinsatz zum Ausbringen des Bindemittels



5.4 Ergebnisse der Studie

Die Studie ergab wichtige Erkenntnisse über die optimale Anwendung von Verklebemitteln zur Staubbindung im Tagebau. Unter günstigen Bedingungen ergibt sich eine Haltbarkeit der Verklebungsfläche von mindestens einem Jahr, das durch unterstützende Mulchungsmaßnahmen und unterstützender Ansaat ausgedehnt werden kann. Das Projekt zeigte aber auch die Grenzen der Anwendbarkeit von Verklebungsmaßnahmen auf, die beispielsweise beim direkten Vergleich mit der konventionellen (Zwischen-)begrünung auf geeigneten und vorbereiteten Standorten auch hinsichtlich des Kosten-/Nutzen-Aufwandes schlechter abschneiden.

Auf jeden Fall wurde mit diesem ersten Projekt zur Staubminderung in Tagebauen Neuland betreten und der Weg für weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet gelegt. Die Vattenfall Europe Mining AG führte mit den erarbeiteten Grundlagen weitere Verklebungsversuche in den Tagebauen Welzow-Süd 2009 und Jänschwalde 2011 unter anderem auch mit anderen Forschungsinstituten wie der Hochschule für Technik und Wissenschaft in Dresden oder mit dem Institut für Luft- und Raumfahrttechnik durch, die weitere wissenschaftliche Erkenntnisse zur Staubemission und deren Minderung hervorbrachte.

Tragrollenprüfstand Kooperationsprojekt der Hochschule Lausitz (FH) und der Vattenfall Europe Mining AG

Das Projekt mit dem Industriepartner Vattenfall wurde 2007 auf Initiative der Hauptwerkstatt ins Leben gerufen.

5.5 Ausgangspunkt

In den Lausitzer Tagebauen werden neben der kosteneffizienten Förderung von Abraum von der Gewinnungs- auf die Verkippsseite mittels Abraumförderbrückentechnologie überwiegend Bandanlagen (Gurtbandförderer) zum selektiven Transport von kulturfähigem Substrat und zum Abtransport der Rohbraunkohle aus der Grube zu Verladepunkten oder Kohlelagerplätzen eingesetzt (Abbildung 4).

Für den Betreiber von Gurtförderanlagen zum Transport von Kohle und Abraum sind in unmittelbarer Nähe von Ortschaften gesetzliche Forderungen des Umweltschutzes und in gleichem Maß die Akzeptanz der betroffenen Anlieger von Bedeutung.

Nach Umsetzung technischer Schallschutzmaßnahmen an Großgeräten und Antriebsstationen sind Gurtförderanlagen die bestimmenden Geräuschquellen im Tagebau mit Immissionswirkung für die Ortschaften.



Abbildung 4: Gurtförderanlage zum Transport von Abraum im Tgb. Jänschwalde

Tragrollen im Obertrum (Transportrichtung und Beladung des Förderbandes) und im Untertrum (Rücktransport des Förderbandes) der Bandgerüste stellen ein wesentliches und aufgrund der Anzahl kostenintensives Bauelement eines Gurtförderers dar. Tragrollen als Einzelrollen in starren Tragrollenstationen sowie in mehrteiligen Girlanden sind wesentliche Emissionsquellen für Lärm. Durch die Länge der Gurtförderanlagen und die Vielzahl eingesetzter Tragrollen stellt die Lärminderung hier eine technische Herausforderung dar. Deshalb werden kontinuierliche Überwachungen der technischen Vorgaben bei der Beschaffung von Tragrollen erforderlich. Mit der Prüfung vorab gelieferter Tragrollen sind Daten bereits bei Planung, Projektierung und vor der Beschaffung großer Stückzahlen verfügbar.



Abbildung 5: Prüfstand mit einer Obertrumtragrolle im Spannhalter für die Nachstellung des Lastfalls

5.6 Ziel des Projekts

Tragrollen zeigen im Außeneinsatz in Gurtförderern akustisch betrachtet eine große Bandbreite an Lärmemissionen, abhängig nicht nur von der Einsatzdauer sondern auch von der Qualität und dem Herstellungsverfahren der jeweiligen Tragrolle. Die Grundidee, die daraus resultiert, war die Erarbeitung eines Modells zur standardisierten Ermittlung von akustisch relevanten Eigenschaften von Tragrollen für Gurtförderanlagen der Vattenfall Europe

Mining AG und die daraus eventuell ableitbaren Qualitätsforderungen zum Erreichen eines gleichbleibend guten akustischen Zustandes der Gurtförderer im Betrieb. In Verbindung mit der Umsetzung weiterer Lärminderungsmaßnahmen trägt dies maßgeblich zur Minderung der Lärmimmission in Tagebaurandgemeinden an den Tagebaugroßgeräten und damit zur Verbesserung der Lebensqualität der Anwohner bei.

5.7 Praktische Umsetzung des Projekts

Da die Ermittlung von akustischen Eigenschaften von Tragrollen im laufenden Betrieb der Anlage aufgrund von Fremdeinflüssen und notwendigen Abstimmungen zum Betriebsregime der Anlagen nur schwer umzusetzen ist, wurde eine Versuchsanlage zur Ermittlung von Tragrolleigenschaften in Laborumgebung an der Hochschule Lausitz in Senftenberg in Zusammenarbeit des IURS e.V. und der Vattenfall Europe Mining AG im Jahr 2009 aufgebaut (Abbildung 5). Dieser sogenannte Tragrollenprüfstand wird von Mitarbeitern der Hochschule Lausitz im Fachbereich Logistik und Fördertechnik unter Leitung von Prof. Dr. Ing. Peter Biegelt und Kooperationspartnern von Vattenfall betreut. Mit Hilfe dieses Prüfstandes lassen sich beispielsweise folgende Kennwerte für Tragrollen ableiten:

- Geschwindigkeitsabhängige Schalleistung
- Ermittlung von Rundlauf, Wanddicke und Unwucht
- Dämpfung des Tragrollenmantels
- Oberflächeneigenschaften des Mantels
- Lage und dynamisches Verhalten der Achse
- Diagnose von Lagerschäden
- Waddickenmessung
- Ermittlung von Anlaufwiderständen bei Tragrollen

Des Weiteren wird der Einsatz einer sogenannten akustischen Kamera (Abbildung 7) auch im Zusammenhang mit dem Tragrollenprüfstand erprobt, die eine visuelle Darstellung von Schallemissionen und ihre genaue Lokalisation ermöglicht.

5.8 Bisherige Ergebnisse aus dem Projekt (Auszug)

- erstmalige Möglichkeit der Angabe der Schalleistung für eine Tragrolle
- Hersteller testen Tragrollen für Produktentwicklungen
- Verwendung des Schalleistungspegels L_w als Vergabekriterium in Ausschreibungen
- Vergleichswert für die akustische Eigenschaft des Tragrollenmantels
- Unterscheidungsmöglichkeit zwischen verschiedenen Herstellern

Der Tragrollenprüfstand ermöglicht erstmals eine qualitative Prüfung von Tragrollen akustischen Gesichtspunkten und nicht nur aus dem Blickwinkel der mechanischen Belastbarkeit und Lebensdauer. Der Aspekt des Lärmschutzes ist bei Tragrollenherstellern bisher noch wenig beachtet worden. Da die Umweltauflagen allgemein aber eine immer größere Rolle im Betrieb spielen, hilft der Tragrollenprüfstand eine belastbare Qualitätsanforderung hinsichtlich der akustischen Qualität von Tragrollen zu erarbeiten und in Ausschreibungsverfahren den Anbietern vorzugeben. Gleichzeitig wird den Herstellern die Möglichkeit ge-

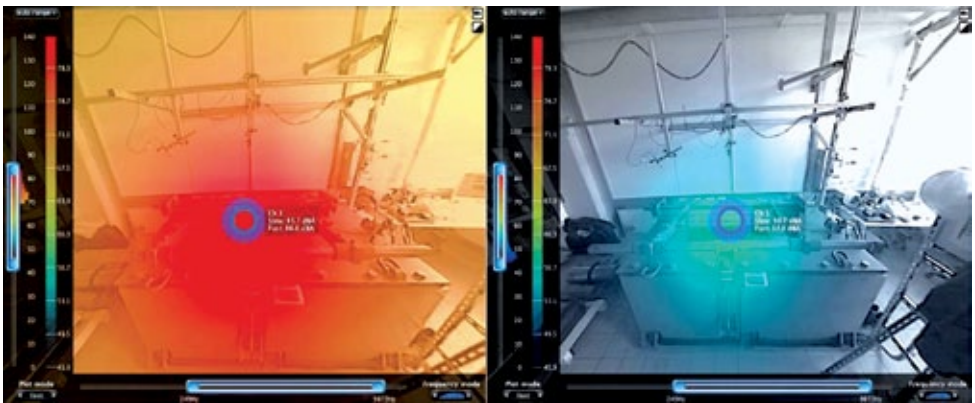
geben, die akustischen Eigenschaften ihrer Produkte selbst am Tragrollenstand zu prüfen und den Herstellungsprozess anzupassen. Damit wird die zukünftige Investition in möglichst lärmarme Tragrollen durch gesicherte und nachprüfbare Qualitätsvorgaben verbessert.

5.9 Ausblick

Die Erkenntnisse aus den bisherigen Tragrollenversuchen zeigen, dass die Auswahl einer besonders lärmarmen Tragrolle durchaus nicht pauschal mit ermittelten Mess- und Kennwerten erfolgen kann. Verschiedene komplexe Zusammenhänge zwischen Unrundheiten, Exzentrizitäten, Kreisformabweichungen und die zugrunde liegenden Herstellungsverfahren der verschiedenen Anbieter müssen beachtet werden. Noch längst nicht alle Zusammenhänge sind ausreichend dargestellt und erfordern auch in Zukunft weitergehende Forschung auf diesem Gebiet. Die Vattenfall Mining AG unterstützt diesen Prozess auch im eigenen Interesse des vorsorglichen Umweltschutzes als eine effektive Möglichkeit, die Lärmauswirkungen durch den Tagebaubetrieb zu vermindern. Die bisherigen Ergebnisse sorgen bereits dafür, dass Tragrollen auch unter Berücksichtigung von akustischen Kennwerten in großem Maßstab eingesetzt werden können, indem sie den Einkaufsprozess durch detaillierte Lärmvorgaben unterstützen.



Abbildung 6: Versuchsaufbau Akustische Kamera am Tragrollenprüfstand an der Hochschule Senftenberg



6. ANALYSE HOCHBEANSPRUCHTER GLEIT-LAGERUNGEN IN UND AM VERBRENNUNGSMOTOR

Prof. Dr.-Ing. habil. Sylvio Simon, Hochschule Lausitz (FH)

6.1 Zusammenfassung

Moderne Gleitlagerung sind Dank der modernen Schmieröle hochbelastbare Maschinenelemente. Dabei übernehmen diese die Schmierung und den Abtransport von Wärme. Störungen in der Schmiermittelversorgung wirken sich jedoch zerstörerisch auf die Lagerung aus. Bei der Instandsetzung dieser Gleitlagerungen ist eine genaue Ursachenanalyse erforderlich, damit der wahre Grund für den Lagerdefekt ermittelt und abgestellt werden kann.

6.2 Einleitung

Die hydrodynamische Gleitlagerung findet als hoch beanspruchbare, fast wartungsfreie und kaum verschleißende Lagerungen vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Maschinen- und Anlagenbau. Allgemein sind Gleitlager teilbar, Wälzlager jedoch nur in Sonderausführungen, so dass Gleitlagerungen auch auf gekröpften Wellen oder bei unterschiedlichen Durchmessern verbaut werden können. Daher sind die Nockenwellen und Kurbelwellen von Mehrzylinder Viertaktmotoren gleitgelagert. Das Verhalten der hydrodynamischen Gleitlagerung wird durch die Stribeck- Kurve beschrieben.

6.3. Grundlagen

Beim hydrodynamischen Effekt kommt es zum „Aufschwimmen“ eines Körpers auf einer Flüssigkeitsoberfläche durch eine hohe Geschwindigkeitsdifferenz, so dass die Flüssigkeit auf Grund ihrer inneren Trägheit nicht schnell genug verdrängt werden kann. Dieses Verhalten ist typisch für den Aqua – Planing Effekt bei Kraftfahrzeugen. Werden Gleitlager stationär belastet, so ist deren Berechnung nach der DIN 31651-31653 oder der VDI 2204 möglich. Wie schwierig die Berechnung ist, zeigt die Weiterentwicklung der Norm DIN 31652, deren Neuentwurf seit etwa zwei Jahren zurückgezogen ist.

Bei der Berechnung der Lager ist die zulässige Lagerbelastung und die Lagererwärmung zu prüfen. Dabei sollte die mittlere Lagertemperatur vom 90 °C im Betrieb nicht überschritten werden, um Lagerschäden und Ölveränderungen zu vermeiden.¹ Die Wärmeabfuhr kann durch Konvektion über das Gehäuse und / oder durch Wärmetransport im Ölstrom erfolgen. Dabei ist zu prüfen, ob die Eigendruckentwicklung aus der Wellenrotation ausreicht oder eine Druckumlaufschmierung zu installieren ist. Störeinflüsse auf die Lagerungen entstehen durch Unwuchten, Schwingungen sowie Montageabweichungen. Diese sind rechnerisch oft nicht erfassbar, daher erfolgt die Auslegung mit Sicherheitsfaktoren.¹

6.4 Problemstellung

Hydrodynamische Gleitlagerungen in Verbrennungsmotoren werden dynamisch belastet. Dabei sind die Anfahr- und Auslaufvorgänge als besonders kritisch zu betrachten. Hier kann

es neben den Mischreibungszuständen auch zu einem Wärmestau kommen, der maßgeblich durch die Prozesswärmeabstrahlung im Verbrennungsmotor bedingt ist. Die dabei eintretende Temperaturerhöhung des Schmiermittels führt zu einer Abnahme der Schmierölviskosität und damit zu einer Reduzierung der Schmierspalthöhe. Sofern noch ein Ölstrom vorhanden ist, reduziert sich dieser durch die Abnahme der Schmierspalthöhe.

Eine thermische Überbelastung der hydrodynamischen Gleitlager im Stand nach einer hohen Beanspruchungsphase durch die fehlende Wärmeabfuhr (Stillstand der Ölpumpe) ist bei ausreichend langer Abkühlzeit unkritisch für die Lagerung, da sich die Bauteile im abgekühlten Zustand zusammenziehen und die Ölviskosität wieder zunimmt. Probleme können sich jedoch bei kurzzeitigen Betriebsunterbrechungen ergeben, wie auch bei Fahrzeugen mit Start – Stopp – Automatik. Dabei ist je nach konstruktiver Situation und Wärmebelastung von unterschiedlichen Zeiträumen auszugehen. Kurzzeitige Motorstillstände von bis dahin thermisch hoch belasteten Motoren von 15 ... 30 s sind vertretbar, d.h. auch ein sofortiges Anlassen nach einem Motorstopp, z.B. durch Motorabwürgen bei Fehlschaltungen wird nicht zu Motorschäden führen.

6.5 Analyse der Gleitlagerung einer Nockenwelle eines Pumpe – Düse – Verbrennungsmotors nach einem Schadensfall

Bei Verbrennungsmotoren nach dem Pumpe – Düse – Prinzip wird der zur Verbrennung benötigte Kraftstoff direkt an der Einspritzstelle auf den notwendigen Einspritzdruck gebracht. Dadurch entfallen Hochdruckleitungen, die durch den Kraftstoff mit dem Einspritzdruck elastisch geweitet werden, wodurch ein Druckverlust in der Leitung entsteht und eine exakte Bemessung der Kraftstoffmenge nicht möglich ist. Durch das Pumpe – Düse – Prinzip kann sowohl zeitlich als auch mengenmäßig eine sehr exakte Einspritzung sichergestellt werden.

Der Antrieb des jeweiligen Pumpe – Düse – Elementes erfolgt durch einen Antriebsnocken. Im untersuchten Fall wurde über einen Rollenkipphebel die Bewegung des Nockens auf das Pumpe – Düse – Element übertragen. Die zu übertragenden Verdichtungskräfte des Pumpe – Düse – Elementes sind dabei signifikant höher als die zur Ventilbewegung notwendigen Kräfte. Die Einspritzdrücke im Pumpe – Düse – Element können 200 MPa übersteigen. Die Untersuchung des Rundlaufes der Nockenwelle in den Lagerstellen erfolgte mit dem Hommel Tester Form 1002.



Abbildung 1: Vermessung der Nockenwelle auf Rundlauf

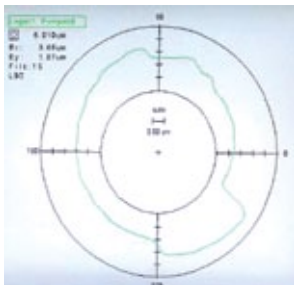


Abbildung 2: Lagerstelle 1

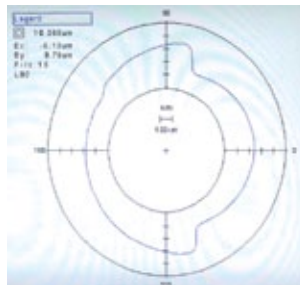


Abbildung 3: Lagerstelle 2

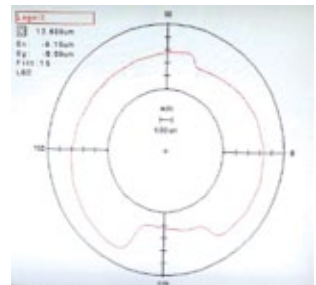


Abbildung 4: Lagerstelle 3

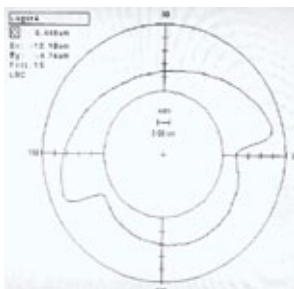


Abbildung 5: Lagerstelle 4

Besonders bei der Darstellung des Rundlaufes des Lagers 4 erkennt man deutlich die Wirkung der Verdichtungskräfte, die zu einer Reduzierung des Umfanges an dieser Stelle des Lagersitzes und damit zu der charakteristischen Kurve in Form eines Kurbelwellenausgleichgewichtes führt.

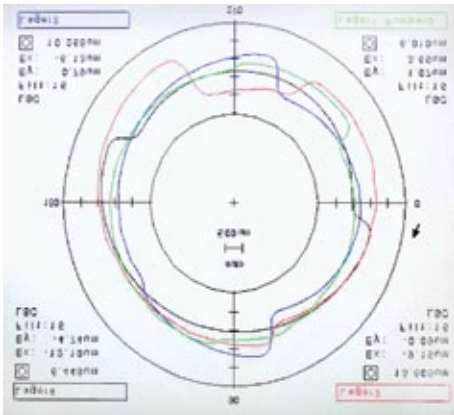


Abbildung 6: gemeinsame Darstellung der Lagerstellen der Nockenwelle

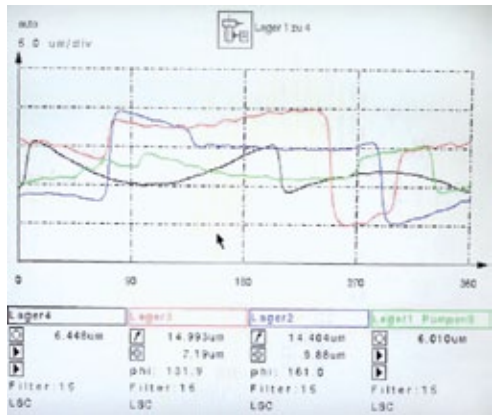


Abbildung 7: Darstellung der Maßunterschiede als Abwicklung über den Umfang

Abbildung 6 und 7 zeigen, dass der Verschleiß an allen Lagerstellen, jedoch nicht ganz gleichmäßig vorhanden ist.



Abbildung 8: Eingebauter Rollenhebel zur Betätigung der Pumpe - Düse - Elemente

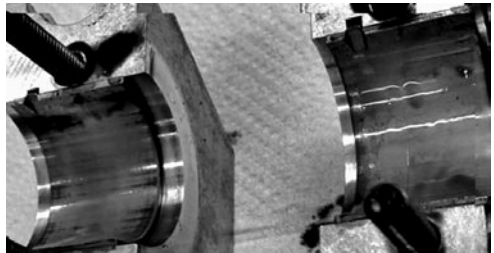


Abbildung 9: Blick in zwei obere Lagerschalen

Die oberen Lagerschalen werden nicht durch die Gewichtskraft der Nockenwelle beansprucht. Beim Anlaufen und Anhalten findet hier so gut wie keine Mischreibung statt.



Abbildung 10: Blick in alle unteren Lagerschalen

In den unteren Lagerschalen ist durch das ungleichmäßige Tragbild das Wirken der Mischreibung im Anfahr- und Anhaltprozess gut zu erkennen.



In Abbildung 11 ist an der rechten Bildseite eine kupferfarbene Verfärbung sichtbar, die aus der Verspannung der Nockenwelle durch den Nockenwellenantrieb erfolgt und damit zur Kantenpressung und zum Verschleiß der Tragschicht im Lager führt. Zum Vergleich hier eine verschlissene Gleitlagerung eines Industriegetriebes.

Abbildung 11: rechte äußere Lagerschale

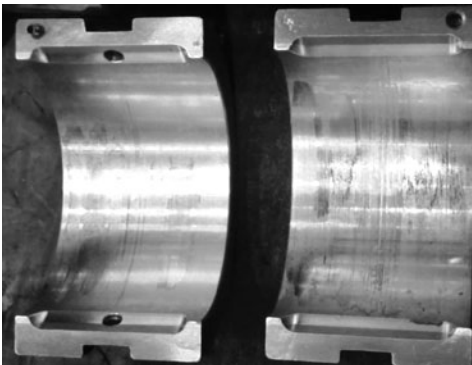


Abbildung 12: Gleitlagerung Industriegetriebe mit starker Riefenbildung an der rechten Schale



Abbildung 13: Gleitlagerung Industriegetriebe mit Materialabtrag

6.6 Analyse der Lagerungen von Abgasturboladern

Abgasturbolader dienen der Steigerung des Füllungsgrads der Motoren. Sie sorgen für den nötigen Luftüberschuss, um aus dem gegebenen Hubraum ein Maximum an Leistung herauszuholen. Dabei dient die im verdichteten, hoch erhitzten Abgas enthaltene kinetische Energie zum Antrieb eines Turbinenrades, welches über die Abgasturboladerwelle fest mit dem Verdichterrad verbunden ist. Dabei können Abgasturbolader in Serienfahrzeugen Drehzahlen von bis zu 248.000 1/min erreichen², wie der Abgasturbolader am neuen Ford Focus 1.0 Eco-Boost Motor. Obwohl für verschiedene Abgasturboladertypen schon mit Wälzlagerungen experimentiert wurde, ist die Gleitlagerung, vor allem bei so hohen Drehzahlen die Standardlösung.

Eine gemeinsame Lagerbuchse bildet die beiden Lagerstellen für die Radiallagerung der ATL-Welle, wobei zwischen den Lagerstellen das Schmiermittel über eine kleine Bohrung zu- und über eine größere Bohrung abgeführt wird. Das Schmiermittel übernimmt hier maßgeblich die Wärmeabfuhr aus der Lagerstelle, die durch die Aufheizung des Turboladers

abgasseitig hervorgerufen wird. Das Ladergehäuse kann rotglühend werden. Störungen oder Unterbrechungen in der Wärmeabfuhr, bedingt durch das Schmiermittel können, große Schäden an der Lagerung des ATL anrichten und nachfolgend zu Totalausfall des ATL führen. Aber auch andere Defekte, die zur Zunahme des Ölstandes durch Ölverdünnung oder zur Steigerung des Blue Blow Effektes führen, können den ATL in seiner Funktion beeinträchtigen und die Lagerung beschädigen. Da auf Grund der Emissionsvorschriften die Kurbelgehäuseentlüftung vor dem ATL in Saugrichtung liegt, können angesaugte Öltröpfchen der Entlüftung sich am Verdichterrad niederschlagen. Durch die Fliehkräfte werden sie wieder abgeschleudert, jedoch bleibt ein Ölfilm erhalten, der geringste Schmutzpartikel am Verdichterrad haften lässt und zu Unwuchten führt, die das Laufzeug des Laders in eine Kreisel-Pendelbewegung versetzen und die Lagerung übermäßig beanspruchen. Die Lagerung schlägt aus. Unterstützt wird der Vorgang durch den erhöhten Ölkohleanteil aus der ölhaltigen Verbrennungsluft im Abgasstrom. Ein zu hoher Ölstand im Kurbelgehäuse kann zu einem Ansaugen von Öl aus dem Kurbelgehäuse in die Lagerung des ATL durch den Ölrücklauf führen. Hierbei ist die Wärmeabfuhr nicht mehr gewährleistet. Es kommt zum Fressen der Lagerung. Die nachfolgenden Bilder sollen dies darstellen.



Abbildung 14: Zerstörtes Axiallager eines Abgasturboladers



Abbildung 15: Neue und stark verschlissene Radiallagerbuchse des Laufzeugs



Abbildung 16: Laufzeugwelle mit deutlichen Fressspuren aus Lagermaterial



Abbildung 17: Durch Fressen verdrehte Radiallagerbuchse im ATL Gehäuse



Abbildung 18: Unverdrehte Lagerbuchse



Abbildung 19: Rotglühender Abgaskrümmer mit Abgasturbolader bei einem Motorlauf auf einem Prüfstand

6.7 Maßnahmen

Im Allgemeinen enthalten die Bedienungsanleitungen für Kraftfahrzeuge Hinweise, wie der Verbrennungsmotor nach einer thermisch hohen Beanspruchung auf ein ausreichendes Temperaturniveau gebracht werden kann. Die inzwischen standardmäßigen elektrisch angetriebenen Kühlerlüfter können den Verbrennungsmotor auch im Stillstand „kühlen“, wobei keine Wasser- und Schmierölzirkulation erfolgt.

Eine separat elektrisch angetriebene Ölpumpe könnte nach dem Anhalten des Motors noch einen Ölstrom aufrechterhalten, um Wärme aus hochbelasteten Stellen abzuführen. Der elektrische Kühlerlüfter tut schon sein Übriges.

Im Weiteren bietet sich eine solche Trennung auch für teilhybride Fahrzeuge an, die durch einen Akku Öl- und Wasserpumpe speisen, um den Verbrennungsmotor vom Antrieb der Nebenaggregate zu entlasten.³

Literaturverzeichnis

- ¹ Decker Maschinenelemente, Hanser - Verlag, 18.Auflage, Kap 17
- ² Auto Motor Sport, Heft 14/2012 vom 14.06.2012, S. 74
- ³ Lauter, Oliver; Marmit, Hans-Georg; Geniale Erfindung oder fauler Zauber? - Hybridantrieb zum Nachrüsten im Praxistest; KÜS magazin Ausg. 32, Frühjahr 2012; S. 14 - 15

7. ERZEUGUNG VON SYNTHETISCHEM DIESEL AUS BIOGENEN RESTSTOFFEN

Prof. Dr. oec. Hubertus Domschke, Hochschule Lausitz (FH)

7.1 Ressourcen und Nachhaltigkeit

Zu Beginn eine Feststellung:

„Mangel, Kostensteigerung und Klimaschutz sind die größten Triebfedern in Entwicklungsprozessen“

Die Erdölressourcen werden knapper, die Erkundung und Förderung immer teurer. Einen Vergleich ausgewählter Energieträger zeigt Bild 1.

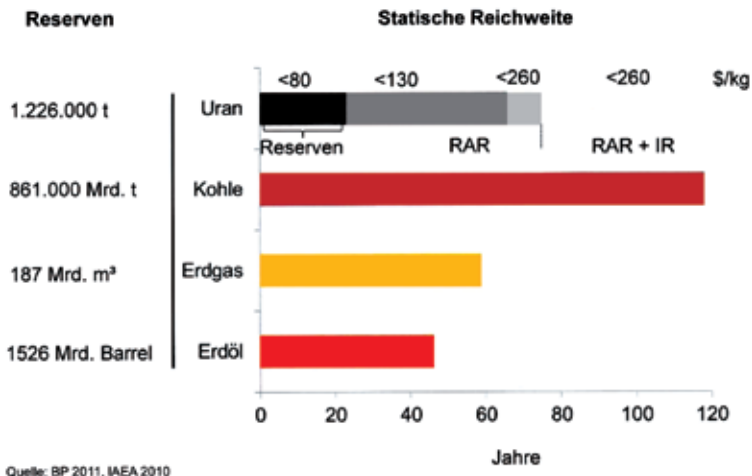


Bild 1: Reserven von Energieträgern und statische Reichweite /1/

Der seit Jahren laufende Strukturwandel bei der Elektroenergieerzeugung wird sich auch bei den Kraftstoffen zeigen.

Wir stehen vor einer Neuorientierung der Wirtschaft. So wie heute dezentrale Energiewirtschaft ihren Beitrag im scheinbaren Widerspruch von Wachstum und Klimaschutz leistet, so werden künftig zu den bekannten Kraftstoffen wie Biodiesel und Ethanol weitere Produkte hinzu kommen.

Auch wenn die stromdominierende Zukunft das Primat haben wird, werden die flüssigen Energieträger gleichfalls aus einem Mix unterschiedlicher Verfahren und Rohstoffen bestehen.

Für die Wirtschaft entstehen

- neue Aufgabengebiete
- neue Anforderungen an Veränderungen
- regionale Wertschöpfungsprozesse

Für die Forschung entstehen

- breite Anwendungsfelder in mittelständischen Strukturen
- Innovationen in zahlreichen neuen Gebieten (Biotechnologie, Verfahrenstechnik, Chemie)

Für die Politik entstehen

- Anforderungen an dezentrale Planungen
- Aufwertung der Nähe
- veränderte soziale Strukturen

Bestens in einer Grafik (Bild 2) dargestellt von Prof. Foth /2/:

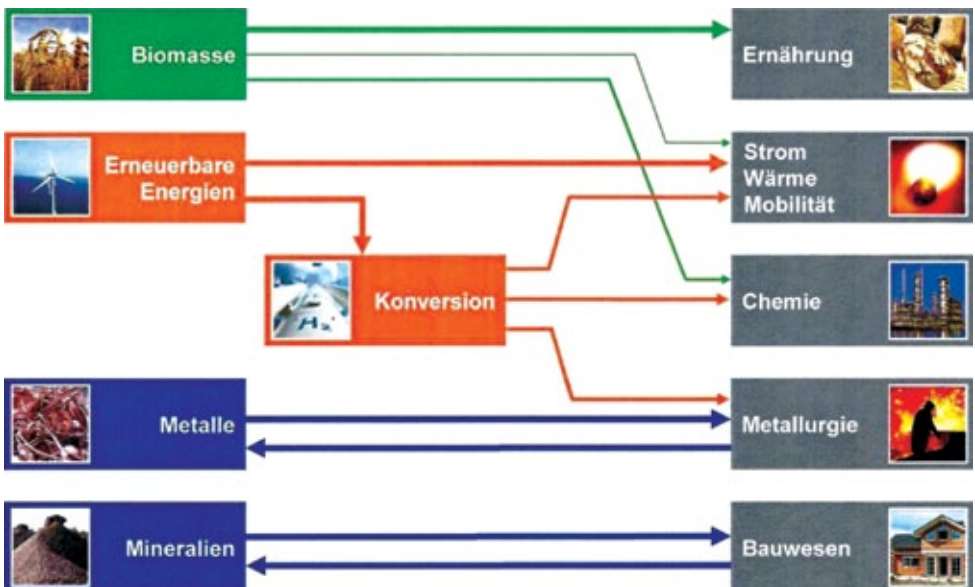


Bild 2: Stoffströme der Zukunft /2/

So wie heute bereits mittelständische Energieverbraucher (Stahlwerke, Molkereien u. a. m.) zur Energieproduktion übergehen, Mikrowärmenetze in Wohnanlagen keine Seltenheit sind und Gewerbestandorte sich semiautark versorgen, so werden künftig auch regionale Kraftstofferzeuger einen lokalen Markt versorgen.

7.2 Situation bei Diesel

Diesel wird in naher Zukunft weiter teurer, insbesondere da im LKW-Verkehr und der Schifffahrt kaum Alternativen in Sicht sind.

Weiter steigende Mobilität verschärft das Problem weltweit, da die Dieselausbeute aktuell bei ca. 29 % liegt und gleichzeitig etwa 20 % Ottokraftstoff anfallen. Eine Erhöhung des Bioanteils im Diesel könnte Entlastung bringen, ist aber bei erlaubten 7 % gedeckelt.

Eine Alternative stellen die synthetischen Kraftstoffe der zweiten Generation dar. Das nötige Input sind auch Reststoffe wie Kunststoffabfälle, Restholz, Stroh, Kohle (schwefelhaltig) Fette, Öle und anderes.

Weltweit wird intensiver an Biodiesel aus dem Meer geforscht. Spezielle Algenkulturen werden künftig einen signifikanten Anteil des Öl- und Diesel Bedarf decken. Der Kraftstoffertrag je Hektar und Jahr (Bild 3) fällt deutlich zugunsten der Algen aus.

Explizit werden Holz und Stroh als Input für BtL – Kraftstoff in den Handlungsschwerpunkten für Politik, Wirtschaft und Forschung in Sachsen bis 2020/3/ genannt. Verstärkt werden die Anstrengungen zur teilweisen Substitution weiter durch die Tatsache, dass 60 % der weltweiten Erdölimporte aus Staaten mit hohem bei sehr hohem Risiko von politischer Instabilität kommen (Bild 4).

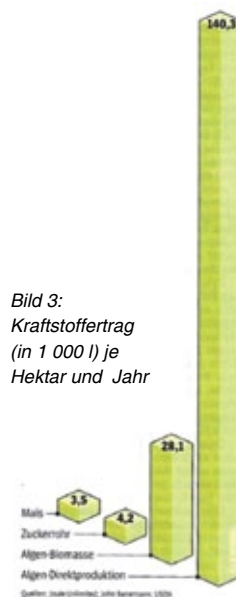
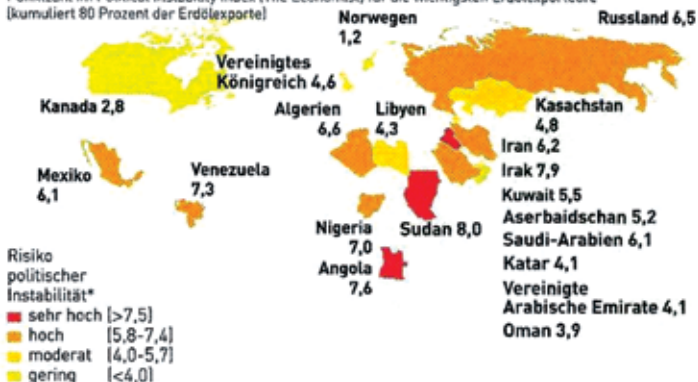


Bild 3:
Kraftstoffertrag
(in 1 000 l) je
Hektar und Jahr

Politische Instabilität von erdölproduzierenden Staaten

Punktzahl im Political Instability Index (The Economist) für die wichtigsten Erdölexporteure
(kumuliert 80 Prozent der Erdölexporte)



Hinsichtlich der Klimasituation ist mineralischer Diesel mit fast 3 kg CO₂-Äquivalent pro Liter Kraftstoff gegenüber BtL-Kraftstoff mit ca. 0,5 kg CO₂-Äquivalent 6-fach schlechter gestellt.

Bild 4:
Erdölimporte – abhängig
von Krisenstaaten /4/

7.3 Synthetische Kraftstoffe aus Biomasse

In Deutschland wurden im Jahr 2010 rd. 30 Mio. t Diesel /5/ verbraucht und gleichzeitig etwa 2,6 Mio. t Biodiesel beigemischt („B 7“) oder als Reinkraftstoff („B 100“) verwendet. Prognosen /6/ gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2020 mit BtL ein Substitutionspotential von mindestens 30 % erreicht wird.

Neben der hohen CO₂-Minderung von über 90 % gegenüber mineralischem Diesel stellen künftige Normen für Abgasemissionen von BtL-Kraftstoff kein Problem dar. Positiver Nebeneffekt ist der höhere Cetangehalt des synthetischen Kraftstoffs. Ab dem Jahr 2013 steigt der Steuersatz für reinen Biodiesel von 18,60 Cent/Liter auf 45,03 Cent/Liter. BtL aus Cellulose ist dagegen noch bis zum Jahr 2015 steuerbefreit.

Unabhängig von der Steuerproblematik sind bisher sämtliche Vergleiche auf Basis des Netto Preises für Diesel erfolgt. Damit können länderspezifische und steuerrelevante Verzerrungen unberücksichtigt bleiben.

Noch immer stellt die Studie „Direktverflüssigung von Biomasse – Reaktionsmaschinen und Produktverteilungen“ von Prof. Behrendt /7/ eine ganzheitliche Situationsbeschreibung dar, die bisher in diesem Umfang leider nicht aktualisiert wurde.

Die gegenwärtige Situation ist gekennzeichnet durch:

- einen erheblichen Preisanstieg des Diesels und damit einer günstigeren Basis zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen;
- eine Selektion bei den Verfahrensentwicklern
- eine Fortentwicklung von Verfahrenstechnik sowie weitere Optimierung der Prozesse bis hin zur Entschwefelung des Rohdestillat und sichere Gewährleistung der Kraftstoff-Norm DIN EN 590.

Die von Prof. Behrendt charakterisierten fünf Verfahren von Entwicklern aus Deutschland für die Biomasseverflüssigung wurden im Jahr 2010 von Herrn Döring (Gemeinnützige Forschungsgesellschaft für dezentrale Energiesysteme e. V.) einer aktuellen Wertung unterzogen. Dazu erfolgte eine Beschreibung zum Stand der Technik und eine Darstellung der Verfahrensdokumentation /8/.

Beschrieben wurden dazu:

- KDV - Katalytische Drucklose Verölung und
- TPE – Thermo Physikalische Transformation

Der Autor hat bei beiden Anlagen entsprechende Ergebnisse aus Testfahrten mit unterschiedlicher Biomasse erhalten.

Das Fazit /8/ für beide Verfahren lautet:

- die Anlagentechnik ermöglicht funktionell die Erzeugung von Diesel nach DIN EN 590;
- beide Technologien sind vornehmlich für dezentrale Betriebsstrukturen geeignet und stellen eine Alternative zu Großanlagen dar;
- hinsichtlich Effizienz, Handling und Verfügbarkeit ist sicher weiterer Entwicklungsbedarf vorhanden.

7.4 Katalytische Drucklose Verölung (KDV)

Ein möglicher Lösungsweg zur Erzeugung synthetischen Diesels ist das KDV-Verfahren der Firma **ALPHAKAT GmbH**.

Zum Zeitpunkt ist es das einzige Verfahren, wo im Technikummaßstab (150 Liter/Stunde) Input-Versuche mit Kundenmaterial möglich ist.

Infolge der Genehmigungssituation, brandschutztechnischer Fragen und gewerbeaufsichtlicher Erfordernisse wird in Deutschland eine Tandemanordnung von jeweils zwei KDV-Anlagen mit einer Leistung von 500 Liter/Stunde empfohlen. Ein mögliches Layout zeigt Bild 5.

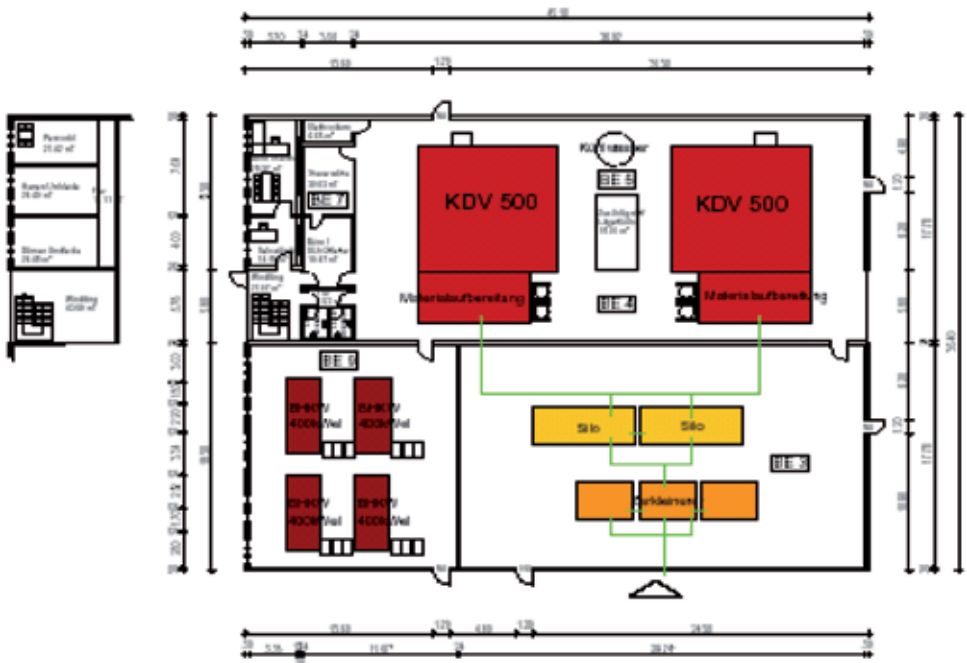


Bild 5: Betriebslayout für eine Tandemanordnung von jeweils zwei KDV-Anlagen

7.4.1 Verfahren

Die KDV 500 ist eine Anlage zur Herstellung von synthetischem Diesel aus kohlenwasserstoffhaltigen Materialien wie Stroh, Holz Miscanthus, Nussschalen u.a. m.

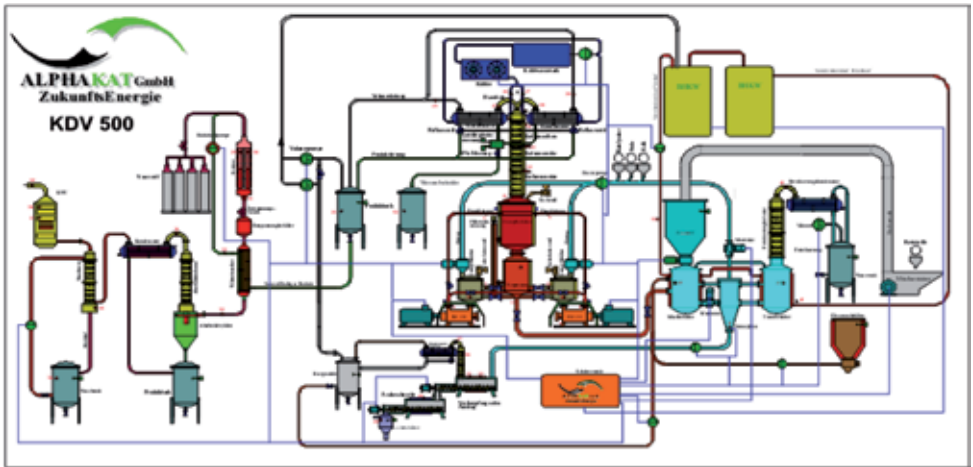


Bild 6: Anlagenschema

Die Anlage arbeitet in einem Flüssigkeitskreislauf bei Temperaturen unter 350 °C. Der eingesetzte Katalysator bewirkt laut Lizenzgeber die Verkürzung der verwertbaren Kohlenwasserstoffmoleküle.

Kernstücke der Anlage sind der Separator zur katalytischen Umsetzung der Inputstoffe zu synthetischem Leichtöldampf sowie die Destillationskolonne in der dieser Dampf kondensiert und in einen Zwischentank abgeleitet wird.

Der Energieeintrag zur Prozesswärmeerzeugung erfolgt im Reaktionsbehälter mittels Alpha-kat-Reaktionseinheiten mit einer Gesamtleistung von bis zu 450 KW.

Der Inputeinsatz erfolgt als Feststoff in vorzerkleinertem Zustand – Masse mit niedrigem Feuchtigkeitsgehalt und einer minimalen Korngröße wird mit dem Katalysator und weiteren Zuschlagstoffen über automatisierte Dosiersysteme eingebracht.

Zur optimalen Auslegung der Anlage bedarf es der Spezifikation der Einsatzstoffe. Sowohl die chemische Zusammensetzung, als auch die physikalischen Eigenschaften und der Feuchtigkeitsgehalt sind festgelegt. Das während des Prozesses anfallende Haftwasser und Prozesswasser wird aufgefangen und aufbereitet zur Entsorgung.

Üblicherweise arbeitet die Anlage im leichten Unterdruck von 0,1 bar bis 0,8 bar. Der Energieaufwand beträgt ca. 10 % der Anlagenleistung. Das technologische Schema zeigt das Fließbild (Bild 7).

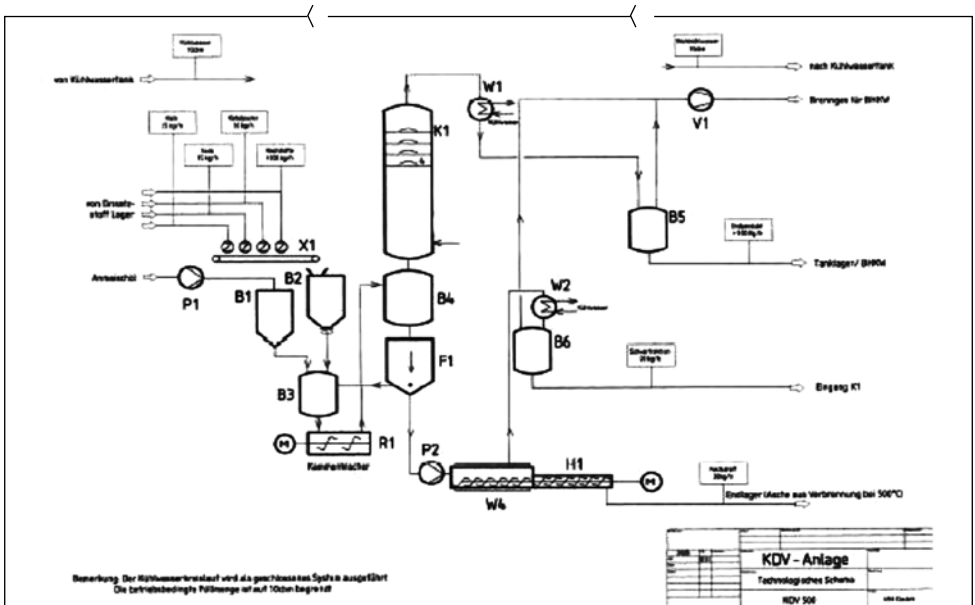


Bild 7: Fließbild

7.4.2 Stoffbilanz

	Inputstoffe (kg/h)
Inputstoff *	2.800
Wassergehalt 15 %	420
Katalysator, Kalk ca. 2 %	55
Fremdstoffe / Mineralik ca. 2 %	55
Gesamt Input	3.330

* Resultierend aus Heizwert von 17.500 kJ/kg TM, der infolge des katalytischen Depolymerisationsprozesses zu ca. 85 % als Diesel gewonnen wird, bei einer Dieselerzeugung von 1.00 kg pro Einsatzstunde.

	Outputstoffe (kg/h)
Diesel*	1.000
Haftwasser	420
Prozesswasser	620
Prozessenergieverluste: Leichtsieder und Wärmeabstrahlung	je 140
CO ₂	840
Reststoffe 5 %	170
Gesamt Output	3.330

* entspricht 1 150 l

7.5 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird entscheidend von der Bilanzgrenze beeinflusst. Bei allen bisherigen Untersuchungen wurde deshalb die Bilanzierung immer auf das eigentliche Betriebsgrundstück bezogen. Mit den wesentlichen Parametern:

Lagervolumen	Input Output	ca. 5 Tage ca. 4 Tage
Parameter Input		max. 15 % Feuchte max. 10 mm Korngröße min. 15 MJ/kg Heizwert
Anlagengröße		2 x KDV 500
Bedienpersonal		2 AN / Schicht
Betriebszeit		7.500 h/á

Die nachfolgenden Angaben sind Auszüge aus dem Geschäftsplaner der Inter Oiltec GmbH /9/.

7.5.1 Kapitalbedarf

Langfristige Investitionen:	in Euro
Grundstück	200.000
Halle komplett	1.200.000
Außenanlagen	30.000
baul. Anlagen wie Ölwanne, Tankplatz usw.	160.000
2 KDV 500	8.200.000
Entschwefelungsanlage	750.000
Zerkleinerungstechnik	495.000
Container / Silos	300.000
Tanks	165.000
sonstige Technik	285.000
innere Erschließung	200.000
Einrichtung / Büroausstattung	15.000
Gesamt	12.000.000

Langfristige Investitionen:	in Euro
Grundstück	200.000
Halle komplett	1.200.000
Außenanlagen	30.000
baul. Anlagen wie Ölwanne, Tankplatz usw.	160.000
2 KDV 500	8.200.000
Entschwefelungsanlage	750.000
Zerkleinerungstechnik	495.000
Container / Silos	300.000
Tanks	165.000
sonstige Technik	285.000
innere Erschließung	200.000
Einrichtung / Büroausstattung	15.000
Gesamt	12.000.000

Mittel- und kurzfristige Investitionen:	in Euro
Material- und Warenlager	100.000
Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe	200.000
Reserve für Unvorhergesehenes in der Anlaufphase	100.000
Betriebsmittel	200.000
Projektkosten: Planung, Genehmigung und Überwachung	1.500.000
Gesamter Kapitalbedarf:	12.000.000

7.5.2 Umsatz und Rentabilität

- Annahmen:**
- durchgängiges Schichtsystem
 - ca. 6.000 bis 7.500 Betriebsstunden pro Jahr
 - Arbeitskräfte
 - 2 Personen/Schicht
 - + Betriebsleiter
 - + kaufmännischen Mitarbeiter
 - Jahresproduktion 6.500.000 l bis 7.500.000 l
 - Erlös ca. 0,42 bis 0,45 €/l
 - nicht berücksichtigt:
 - Investzulage
 - Zuschüsse

Umsätze: ca. 3,4 Mio. €/á

Kosten:	- Personal	0,500 Mio. €
	- Wareneinsatz	0,700 Mio. €
	- Sonstiges	0,300 Mio. €
	- AfA	0,900 Mio. €

Ergebnis vor Steuern: 1,0 Mio. €

9.6 Resümee

- Die Katalytische Drucklose Verölung ist eine Alternative für die Produktion von Kraftstoffen der 2. Generation.
- Die synthetische Dieselproduktion scheint zum gegenwärtigen Zeitpunkt als dezentrale Einheit die größten Chancen zu besitzen.
- Nachgedacht werden muss über veränderte Vertriebsstrukturen, z. B.
 - Genossenschaftsmodelle
 - Stadtwerke

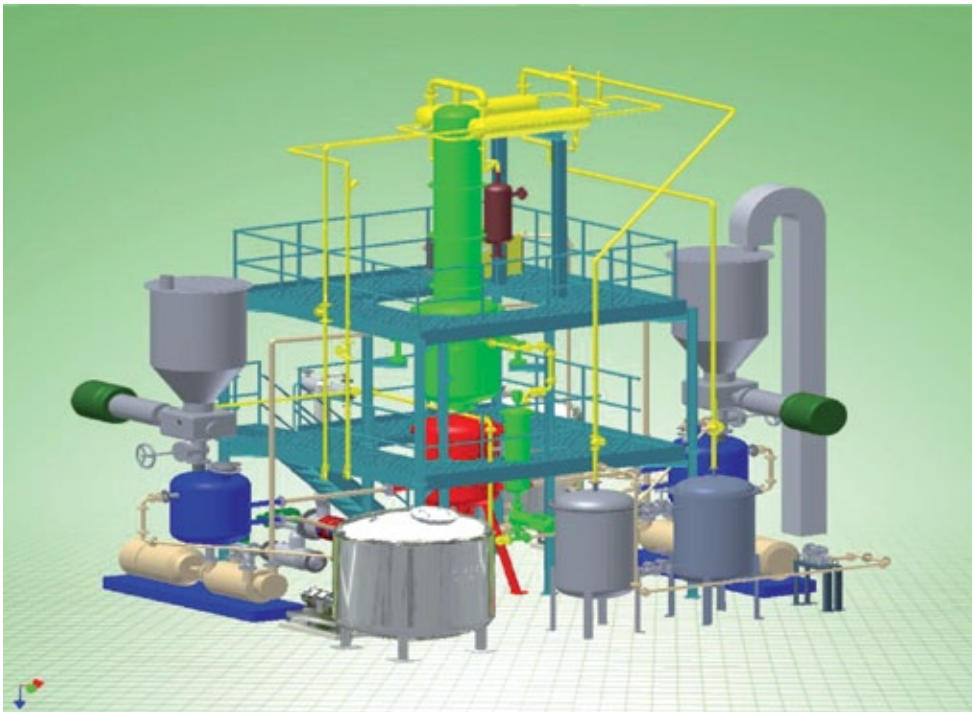


Bild 8: Schema des Apparategestells



Bild 10: KDV 150



Bild 11: KDV 500

Literatur

- /1/ Primärenergievorkommen und Fördermöglichkeiten
Dr. Werner Zittel, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
Vortrag am 21.11.11 bei SAENA GmbH
- /2/ Energiewerke Deutschland – 100 % Erneuerbare Energien
Prof. Dr. Heidi Foth, Sachverständigenrat für Umweltfragen
Vortrag am 21.11.11 bei SAENA GmbH
- /3/ Energie für die Zukunft
Publikation des SMUL
- /4/ Erdölimporte – abhängig von Krisenstaaten
Sonne Wind und Wärme Heft 5.2011
- /5/ www.btl-plattform.de
Stand Dezember 2011
- /6/ Kraftstoffe aus Biomasse – Perspektiven für Biokraftstoffe der 2. Generation
Henning Nannen, Volkswagen AG, VDL-Fachtagung 02.05.2006
- /7/ Direktverflüssigung von Biomasse – Reaktionsmechanismen und Produktverteilungen
Prof. Dr. Frank Behrendt – TU Berlin Juni 2006
- /8/ BtL – Dieselkraftstoff durch Direktverflüssigung
Norbert Döring, GEDES e.V., Juli 2010 (unveröffentlicht)
- /9/ Geschäftsplan zur Errichtung einer Anlage zur Produktion von synthetischem Diesel
Prof. Dr. Hubertus Domschke, Inter Oiltec GmbH (unveröffentlicht)

8. GESCHWINDIGKEITSGEREGETE GURTFÖRDERANLAGE IM TAGEBAU NOCHTEN

Prof. Dr.- Ing. Peter Biegel, Hochschule Lausitz (FH)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Metzinger, IURS e.V.

M. Eng. Jan Magister, Hochschule Lausitz (FH)

Andreas Bürger, Hochschule Lausitz (FH)

Vorwort

Für die energetische Optimierung der Kohlegurtförderanlage / Kohleverladung Nochten im Zusammenhang mit dem LAUBAG-Vorhaben „Geschwindigkeitsregelung der Kohlegurtförderanlage und Kohleverladung Tagebau Nochten“ wurden Messungen an den Gurtförderern 1.0 und 2.5 der Altanlage sowie am Gurtförderer K66 der Neuanlage durchgeführt.

Grundgedanke einer energieoptimalen sowie instandhaltungsoptimierten Fahrweise ist es, die Gurtgeschwindigkeit der Förderer dem ankommenden Volumenstrom so anzupassen, dass der vorhandene Füllquerschnitt möglichst voll ausgelastet wird.

In Verbindung mit dem Vorhaben, die Bekohlung des Kraftwerkes Boxberg vorzugsweise mit Gurtförderanlagen zu realisieren, ist eine kosteneffiziente Kohleversorgung möglich.

Neben der energetischen Wirkung des Vorhabens ergibt sich eine zusätzliche Verbesserung der Umweltverträglichkeit durch die angestrebte Immissionsverminderung, vor allem in Bezug auf Lärmentwicklung sowie Staubbelastigung der Anwohner durch die Kohleverladung und den Zugbetrieb.

8.1 Energiebedarf, Wirkungsgrad

8.1.1 Altanlage

Aufgrund der Anforderungen seitens des Verbrauches an Rohkohle und der stochastisch verteilten Volumenstromaufgaben durch die Gewinnungsgeräte sowie der konstanten, maximalen Gurtgeschwindigkeit der Gurtförderer (GF) ist ein gleichmäßig hoher Füllquerschnitt nicht realisierbar.

Somit ist die Altanlage gekennzeichnet durch eine geringe Ausnutzung des Förderquerschnittes, da durch die Gewinnungsgeräte, auch bei voller Förderleistungsvorgabe, eine 100% -ige Auslastung nicht erfolgen wird. Ebenso ist eine großzügige Dimensionierung der Antriebstechnik erforderlich, um im ungünstigsten Förderfall eine volle Verfügbarkeit der Anlagen zu sichern.

Während der Messungen im April 1997 wurde den Gewinnungsgeräten (3- Baggerbetrieb) die volle Leistung abgefordert. Durch die Baggereffekte kamen so kurzzeitig Massenströme nahe 7.500 t/h vor, die allerdings aufgrund ihrer Kurzzeitigkeit nur geringen Einfluss auf die Gurtfördererbeladung besaßen.

Bei einer Jahresleistung von 11,6 Mio. t Rohkohleförderung für 1996/ 97 (lt. (5)) und einer Betriebszeit von 3000 h/ a ergibt sich eine durchschnittliche Förderleistung von ca. 3.900 t/h. Die installierte Leistung des Förderers bezieht sich aber auf eine Beladung entsprechend dem Massenstrom von 7.500 t/h.

Somit kann in derartigen Fällen einer geringen Auslastung der Förderanlage davon ausgegangen werden, dass für die durchschnittliche Förderleistung ein entsprechender Prozentsatz der installierten Antriebsleistung ausreichend ist. Bei Berücksichtigung von notwendigen Sicherheiten für kurzzeitig auftretende höhere Beladungen, niedrige Temperaturen u.a. Bewegungswiderstandsbeeinflussungen sollte eine angepasste Reduzierung der installierten Antriebsleistung in Betracht gezogen werden.

Gelingt eine Vergleichmäßigung der Volumendurchsätze und eine Sicherung von Standardbetriebsbedingungen durch bergbautechnologische Vorgaben, so ist auch eine fördertechnische Verkleinerung zukünftiger Anlagen und damit auch verminderter Investitionen realisierbar.

Durch die auf den Gurtförderanlagen vorhandenen Mehrtrommelantriebe mit unterschiedlichem Verschleißzustand kam es insbesondere beim Anfahren und bei geringen Fördererbeladungen zum Gegeneinanderwirken der Antriebstrommeln (1). Dies wird durch den unterschiedlichen Antriebstrommeldurchmesser und dem Verschieben des Arbeitspunktes auf der Motorenkennlinie bei entsprechenden Drehzahlen begründet (2). Die dadurch hervorgerufene Belastung der Bauelemente konnte bisher nur durch die großzügige Dimensionierung der beteiligten Elemente ausgeglichen werden. Zusätzlich unterliegen die beteiligten Baugruppen, durch die Verwendung von Flüssigkeitsanlassern, Belastungsspitzen beim Anfahren der Anlage, deren Beträge die Nennbelastung teilweise um ein Mehrfaches übersteigen.

8.1.2 Neuanlage

Eine erste Verbesserung an der Neuanlage ist die Umgestaltung des Anfahrregimes.

Durch die Möglichkeit, alle Gurtförderer nahezu zeitgleich anzufahren, bei gleichzeitig zeitgenauer Rohkohlelieferung, verkürzt sich die Zeit, die für das Hochfahren der Anlage nach einem Stillstand benötigt wird, beträchtlich. Damit erfolgt eine jährliche Reduzierung der erforderlichen Betriebsstunden um 128,25 Stunden (bei ca. 2700 Anfahrprozessen / Jahr). Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist darin zu sehen, dass beim Anfahren die hierdurch entstehenden Beladungslücken minimiert werden.

Durch die umrichter gesteuerten Motoren wird maximal das 1,3-fache Drehmoment zum Anfahren der Anlage freigegeben, wobei zusätzlich die Momentenverläufe als Rampen gestaltet sind. Dies bedeutet einen sanften Anlauf (ruckfreies Anfahren) und damit eine Schonung der beteiligten Bauelemente.

Beim Leeranlauf des K 66, wird an der Motorwelle B20 ca. 40 % des Nennmomentes beim Anfahren abgefordert. Bei einer Fördererbeladung von ca. 70 % ergibt sich hier ein Wert von ca. 80 %.

Da aufgrund der Förderbedingungen selten eine höhere Beladung des Gurtförderers K 66 gegeben ist, wird hier deutlich, dass zum Anfahren des Förderers unter den jeweiligen Umgebungsbedingungen das Nennmoment ausreichend ist.

Bei der herkömmlichen Antriebstechnik wurde zum Anfahren mindestens das Nennmoment den Antrieben abgefordert. Dadurch ist bei der geregelten Anlage eine schonendere Behandlung aller an der Krafteinbringung beteiligten Bauelemente gegeben.

Durch die fast vollständige Ablösung des Bahntransportes von Rohkohle, bisher über 16,5 km (1) kommt es auch bei den zum Transport der Rohkohle verwendeten Schienenfahrzeugen zu Energie und Instandhaltungsaufwandsparungen, welche allerdings auch bei einer Kohleversorgung des Kraftwerkes durch eine mit herkömmlichen Antrieben ausgestatteten Gurtförderanlage eingetreten wäre.

Durch die Möglichkeit, verschiedene Drehzahlen den Antrieben vorzugeben, war es möglich, Zusammenhänge bezüglich Gesamtbewegungswiderstandsbeiwert f (nach DIN 22101: fiktiver Reibungsbeiwert von Obertrum und Untertrum gemeinsam, wird u.a. abhängig von den Betriebsbedingungen festgelegt) von der Gurtgeschwindigkeit und der Beladung zu untersuchen.

Es wurden der Bewegungswiderstand und die Wirkleistung an den Antriebstrommeln für die jeweiligen Beladungs- und Geschwindigkeitsfälle berechnet und mit den gemessenen elektrischen und mechanischen Werten verglichen, soweit es die von SIEMENS übergebenen Werte zugelassen haben.

Mit den daraus ermittelten Diagrammen lässt sich eine Abhängigkeit des Gesamtbewegungswiderstandsbeiwert von der Fördererbeladung und der Gurtgeschwindigkeit belegen. Nur durch eine Anpassung des Gesamtbewegungswiderstandsbeiwerters mit zunehmender Beladung in der Berechnung konnte eine erste annähernde Übereinstimmung mit den gemessenen Werten erzielt werden. Hierbei wurde ein f_{Leerlauf} von 0,016 ermittelt, während bei ca. 100%-iger Beladung ein $f_{100\%}$ von 0,019 verwendet wurde. Dies bedeutet, der Gesamtbewegungswiderstandsbeiwert unterliegt einem Zuwachs von ca. 25 % zwischen den Betriebszuständen Leerlauf und 100 % Beladung bei konstanter Gurtgeschwindigkeit.

Neben dem Eindrückrollwiderstand ist hier auch das Fördergut Rohkohle mit den physikalischen Parametern Schütt- und Kerndichte, Konsistenz, Korngrößenverteilung u.a. zu beachten.

Der Einfluss der Gurtgeschwindigkeit auf den Gesamtbewegungswiderstandsbeiwert f ist bei gleicher Beladung geringer, aber vorhanden (ca. 10% Zuwachs zwischen 50 % und 100 % Gurtgeschwindigkeit).

Im Bild 01 ist der Versuch der Berücksichtigung der Abhängigkeit des Gesamtbewegungswiderstandsbeiwertes f , konstant für gleiche Beladung, in der theoretischen Nachrechnung dargestellt.

Bekanntermaßen kann der Gesamtbewegungswiderstandsbeiwert in folgende Komponenten unterteilt werden:

- Eindrückrollwiderstand an der Schnittstelle Fördergurt - Tragrolle
- Fördergutwalkwiderstand, infolge der Energieumwandlung im Fördergut beim Lauf über die Tragrollenstationen

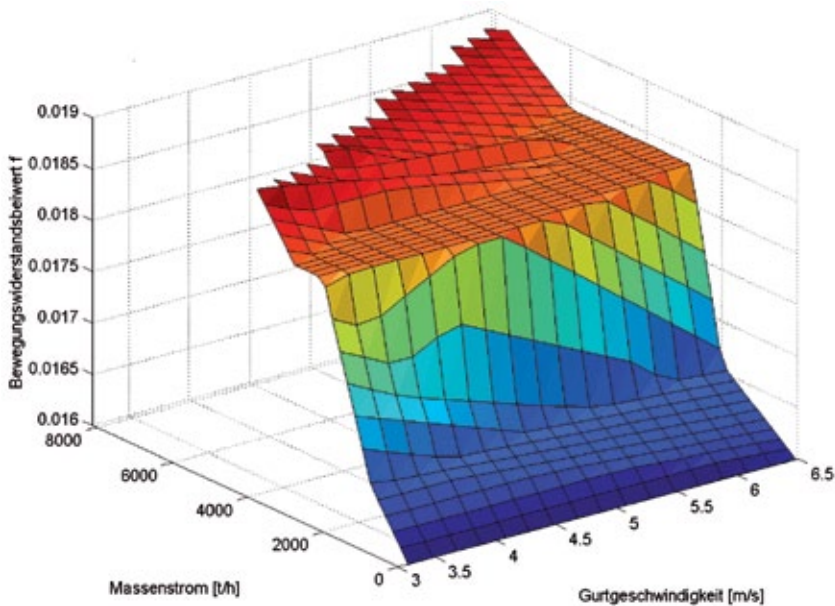


Bild 01: Versuch der Anpassung des f -Beiwertes in Abhängigkeit von Beladung

- Bewegungswiderstand der Tragrollen
- Schwingbiegewiderstand des Fördergurt

Zur Eingrenzung des Streubereiches des Gesamtbewegungswiderstandsbeiwertes sind aus der Sicht der Bearbeiter und der Ergebnisse der Untersuchungen folgende Einflüsse wesentlich:

- Gurtvorspannung, Tragrollenabstand, Gurtdurchhang
- Gurtkonstruktion (Karkasse, lauf- und tragseitige Deckplattenmaterialien und Deckplattendicken)
- Konstruktion der Tragrollen

Ziel ist es, die energetische und fördertechnische Berechenbarkeit von Gurtförderern zu verbessern und damit einen effektiveren Einsatz dieser Technik zu ermöglichen.

Erste Veröffentlichungen (10) dazu lassen erkennen, dass die Bauteilsicherheiten, bedingt durch die Berücksichtigung von neuen Erkenntnissen in der Bauteilfestigkeit und Bauteilbelastung deutlich abgesenkt werden können.

Hinsichtlich der Ermittlung des Bewegungswiderstandes und der Fahrweise sind kaum neue Ansätze in der überarbeiteten Norm enthalten. Damit ist energetisch nur eine Teilverbesserung der Fördermaschine verbunden. Seit Anfang 1998 stehen Gurtförderanlagen zur Verfügung, die es ermöglichen auch o.g. Einflüsse umfassender als bisher zu bearbeiten. In dieser Arbeit wurde nachgewiesen, dass die Gurtbelastung einen starken und wesentlichen Einfluss auf den Bewegungswiderstand über unterschiedliche Wirkprinzipien hat.

In Verbindung mit der Gurtvorspannung, hier lassen sich automatisch arbeitende Systeme

verwenden, die die Gurtvorspannung, nach dem energetischen Optimum, bei Berücksichtigung der Grenzen für Treibfähigkeit und Bauteilfestigkeit, einstellen.

Während der Messungen wurde die Gurtvorspannung (durch eine zeitweilige Veränderung des nur fest einstellbaren Wertes) nicht verändert und somit kann dieser Einfluss nicht weiter untersucht werden.

8.1.3 Vergleich der Anlagen

Aufgrund von Energieverbrauchssimulationen und Vergleichen mit gemessenen.

Werten der Neuanlage lassen sich die hierbei ermittelten Werte mit denen der Altanlage vergleichen.

Bei einer Normierung auf eine Kennzahl $\text{kWh}/(\text{t/h} \cdot \text{km Förderweg})$ ergeben sich folgende Anhaltspunkte (Grundlage Messung / Simulation K66):

Bis ca. 2.500 t/h liegt die Kennzahl für den gesteuerten Betrieb eindeutig unter der für den ungesteuerten. Ab diesem Massenstrom kommen für den gesteuerten Betrieb noch die Anteile für Bremsen und Beschleunigung hinzu.

Diese Anteile sind im starken Maße vom angegebenen Volumenstrom der zufördernden Gewinnungsgeräte abhängig, sowie von den eingestellten Steuerungsparametern. Durch das Wechselspiel von Beschleunigung und Bremsen (es wird kaum stationäre Vorgänge geben) kommt es zu einem Wert der zu verrichtenden Arbeit, deren Mittelwert unter der ungesteuerten Fahrweise liegt (Bild 02).

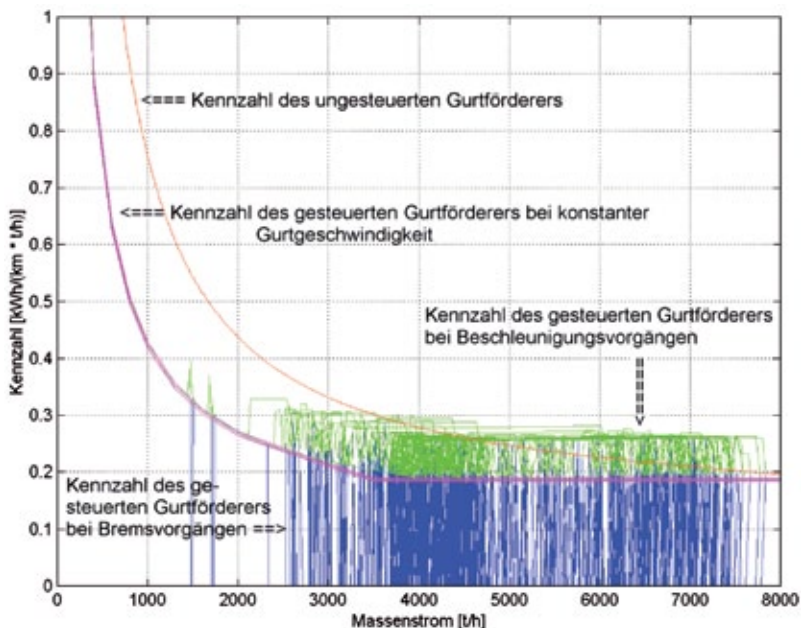


Bild 02: Simulationsergebnis K66, Kennzahl Arbeit / (Massenstrom * Förderweg)

Bei der Simulation mit einem ausgewählten realen Massenstrom (mittlerer Massenstrom 3.729 t/h, Simulationszeitraum 10.000 s) erhält man im Mittel für die ungesteuerte Fahrweise 0,4411 kWh/(t/h * km) und für die gesteuerte 0,2811 kWh/(t/h * km). Dies bedeutet eine Einsparung von 36 %. Die theoretisch benötigte Antriebsleistung für den Förderer K66, ca. 2600 kW für 107 % Massenstrom (Nennmassenstrom = 7.500 t/h bei 6,55 m/s) liegt unter der installierten von 3600 kW (4 x 900 kW).

Da aber die durchschnittliche benötigte Förderleistung noch darunter liegt, sollte ein prinzipielles Überdenken der installierten Leistungen, in Gemeinschaft von Hersteller und Betreiber bei der Projektierung ähnlicher, geplanter Förderanlagen angedacht werden.

Der Einfluss der Außentemperatur spielt hierbei eine wesentliche Rolle. K61 und K62 werden, je nach aufgebendem Gewinnungsgerät, eine konstante Geschwindigkeit vorgegeben. Die nachfolgenden Förderer K63 bis K72 werden, nach dem von K62 ankommenden Volumenstrom, gesteuert betrieben.

Eine Hochrechnung des Energieverbrauches durch die bei der Leistungsmessung am GF K66 am 22.04.- 23.04.1998 ermittelten Werte auf die gesamte Anlage (über Einbeziehung der Förderlänge) lässt sich somit nur unter gewissen Annahmen durchführen.

Von LAUBAG DN wurden der FH Lausitz am 14.08.1998 aktuelle Werte zu Förderleistung und Energieverbrauch des GF K66 übergeben. So beträgt für den söhligen Gurtförderer K66 (Achsabstand ca. 2530 m) der Mittelwert der Kennzahl Energieverbrauch pro Tonne Rohbraunkohle und km Förderweg 0,1607 kWh/ (t*km).

Bei der Altanlage ergab eine Auswertung nach dem Schichtrapport (aus (8): Anlage A21) für die Tage vom 22.04.1997 bis zum 27.05.1997 einen Mittelwert von 0,3024 kWh/ (t*km).

Der Energieverbrauch der Altanlage wurde aus den Werten aller Förderer (Bd.1- Bd.4) zusammengestellt und durch die Länge der Gesamtanlage (11,358 km) geteilt. Bei der hierdurch erhaltenen Einsparung von ca. 46 % an der Neuanlage muß allerdings berücksichtigt werden, dass in den Energiebedarf der Gurtförderanlage nicht nur ihre Länge sondern auch andere Faktoren wie z.B. Höhendifferenz einfließen. Somit ist dieser Wert der Einsparung differenziert zu betrachten. Bei einer ersten Berechnung des Wirkungsgrades zwischen der in den Umrichtertrafo eingespeisten Energie und der an der Trommelwelle abgegebenen wurde, in Abhängigkeit von Gurtgeschwindigkeit und Beladung auf dem Gurtförderer ein Wert von ca. 80 % ermittelt (Anlage A50). Dieser Wirkungsgrad setzt sich aus den elektrischen und den mechanischen Wirkungsgraden zusammen. Die genaue Quantifizierung dieses Wertes konnte, aufgrund der erst seit kurzer Zeit zur Verfügung stehenden Umrechnungswerte, noch nicht durchgeführt werden. Zur Optimierung des Energieverbrauches sind die Vorgaben durch den Betreiber, den Bergmann vor Ort, in Bezug auf Förderregime und die Vorgaben an die Gewinnungsgeräte zu richten. Hierzu zählt der Einsatz von Eimerkettenbaggern mit ihrer relativ gleichförmigen Fördercharakteristik in Kombination mit Schaufelradbaggern, um die Anzahl der Beschleunigungs- und Bremsvorgänge zu minimieren. Sonderfahrweisen, wie z.B. Planumbaggern, sollten so durchgeführt werden, dass durch die Fahrweisen der anderen Gewinnungsgeräte ein entsprechender Ausgleich geschaffen wird. Das Ziel, Förderspitzen abzubauen und einen gleichmäßigen Volumendurchsatz zu erhalten, ist auch ggf. mit einem bergmännischen Bekenntnis und technischen Hilfsmitteln (z.B. Strombegrenzung für Antriebe) zu lösen, indem die Maximalbelastungen festgeschrieben werden.

In Abhängigkeit von der Häufigkeitsverteilung der Förderspitzen empfehlen wir neben der fördertechnischen auch eine energetisch begrenzte Auslegung. Hierbei bieten sich an, Lastspitzen in den Überlastbereich der Antriebstechnik zu legen.

8.2 Einsparpotentiale

8.2.1 Veränderung der Gurtfestigkeit und Antriebsleistung für zukünftige Gurtförderanlagen

Aus den o.g. Einflüssen auf den Gurtförderer ergeben sich andere Ansätze für Auslegung und Berechnung. Bei einer Berücksichtigung der schonenderen Fahrweise und einer dynamisch höheren Beanspruchung von Bauteilen / Baugruppen im Falle einer Geschwindigkeitssteuerung wird es möglich sein, durch angepasste Sicherheiten die kostenintensiven Baugruppen wie Fördergurt, Motoren und Getriebe einer geringeren Leistungsgruppen zu verwenden, und damit den Anlagenpreis zu minimieren.

Bei der herkömmlichen Berechnung der Gurtförderer nach (11) wird der Bewegungswiderstandsbeiwert f als Richtwert für gewisse Anlagenbedingungen vorgegeben. Bei dieser Abschätzung kann es nach (10) zu Annahmen kommen, die zu Fehldimensionierungen (Überdimensionierungen) wichtiger und kostenintensiver Bauelemente des Gurtförderers führen. Bei der neuesten Überarbeitung der DIN 22101 (nach (10)) wird ein Teil der Ursachen für diese Fehldimensionierung Berücksichtigung finden. Die Veränderungen in der Gurtfördererberechnung in Bezug auf Dauerfestigkeit der Gurte und auch der zu installierenden Antriebsleistungen werden dann auch, wie bereits seitens der LAUBAG (1) angedacht, für zukünftige Gurtförderanlagen Stand der Technik sein.

Der zweite wichtige Schritt, die Einbeziehung der Geschwindigkeitssteuerung in die Auslegung der Gurtförderanlagen bedarf noch weiterer eingehender Betrachtungen in Bezug auf Veränderungen in der Gesamtbelastung der Gurtförderer. Diese wird hervorgerufen durch den Wechsel von hoher Gurtgeschwindigkeit und geringer Beladung bei herkömmlichen Gurtförderern und abgesenkter Geschwindigkeiten und hoher Beladung bei geschwindigkeitsgesteuerten Anlagen.

Einen wichtigen Punkt bei der Dimensionierung der Antriebsleistungen spielt der Losbrechwiderstand von durchgefrorenen Gutstangen nach einem Stillstand. Er ist von den verschiedensten Randbedingungen, wie z.B. Fördergut, Temperaturen, Feuchte und Stillstandszeiten abhängig. Eine Auslegung nach dem ungünstigsten Fall führt aber immer zu einer Überdimensionierung für den normalen Förderfall. Hier ist die Entscheidung des Anwenders gefragt, ebenso wie die Fähigkeiten der Motorenhersteller, kurzzeitige Überbelastungen für diese Fälle ohne Schädigungen zuzulassen.

8.2.2 Energieeinsparung

Zur Ermittlung des Zusammenhanges zwischen Gurtgeschwindigkeit, Beladung und verrichteter Arbeit wurde mit Hilfe des Simulationsmodells des Gurtförderers der geschwindigkeitsgesteuerte Betrieb des Gurtförderers K66 der Neuanlage nachgebildet.

Als Eingangssignal wurde ein während der Messungen an der alten Kohlegurtförderanlage Tagebau Nochten gemessener Massenstrom verwendet (Bild 03). Dieses Eingangssignal enthält Massenstromwerte von 0 t/h bis ca. 7500 t/h. Somit wird der gesamte mögliche Arbeitsbereich des Gurtförderers simuliert.

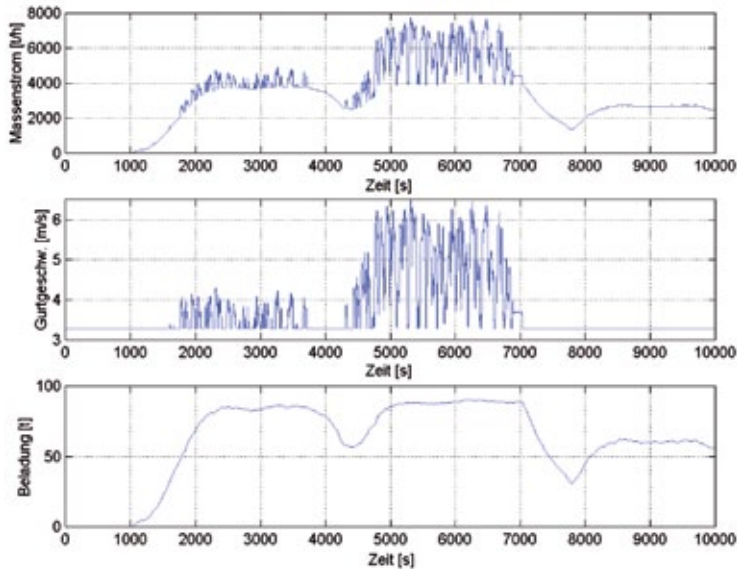


Bild 03: Eingabewerte für Arbeitsberechnung GF K66

Mit Hilfe der aus der Simulation für jeden Zeitintervall Δt ermittelten Beladung des Gurtförderers und der jeweiligen Gurtgeschwindigkeit wurde gemeinsam mit dem in Abschnitt 1.2 ermittelten Gesamtbewegungswiderstandsbeiwert die für den Förderprozess während jedes Zeitintervalls Δt verrichtete Gesamtarbeit in kW (in der Simulation gilt $\Delta t = 0.5$ s) ermittelt. Diese Gesamtarbeit ergibt sich beim Beschleunigen aus:

$$W_{\text{gesamt}} = W_{\text{Reib}} + W_{\text{beschl}} + W_{\text{neue Masse}} \quad (\text{Gl. 9})$$

mit	W_{gesamt}	gesamte zum Betrieb des Gurtförderers erforderliche Arbeit
	W_{Reib}	verrichtete Reibarbeit / Leerlaufarbeit des Gurtförderers
	W_{beschl}	verrichtete Arbeit zum Beschleunigen des Gutes und des Fördergutes von $v(t)$ auf $v(t + \Delta t)$; $v(t + \Delta t) > v(t)$
	$W_{\text{neue Masse}}$	Arbeit zum Beschleunigen des im Zeitintervall Δt vom zufördernden Gurtförderer neu hinzugekommenen Masseteils auf die aktuelle Gurtgeschwindigkeit
	D_m	neu hinzugekommener Masseanteil im Zeitintervall Δt
	$v(t)$	Gurtgeschwindigkeit zu Beginn des Zeitintervalls Δt
	$v(t+dt)$	Gurtgeschwindigkeit am Ende des Zeitintervalls Δt

$$W_{\text{Reib}} = F_{\text{Reib}} * [v(t) + v(t + \Delta t)]/2 * \Delta t \quad (\text{Gl. 10})$$

mit F_{Reib} Reibkraft

$$W_{\text{beschl}} = m/2 * ((v(t) + \Delta t)^2 - v(t)^2) \quad (\text{Gl. 11})$$

mit m Beladung des Gurtförderers und Masse aller drehender Teile

$$W_{\text{neueMasse}} = \Delta m/2 * v(t)^2 \quad (\text{Gl. 12})$$

mit Δm im Zeitintervall Δt neu hinzugekommene Masse

$$\Delta m = \dot{m} * \Delta t \quad (\text{Gl. 13})$$

mit \dot{m} Massenstrom

Für die Berechnung wurde angenommen, dass während der Bremsvorgänge keine Antriebsenergie aufgenommen bzw. rückgewonnen wird. Aus obiger Berechnung wurde der Verlauf der verschiedenen verrichteten Arbeiten ermittelt (Bild 04).

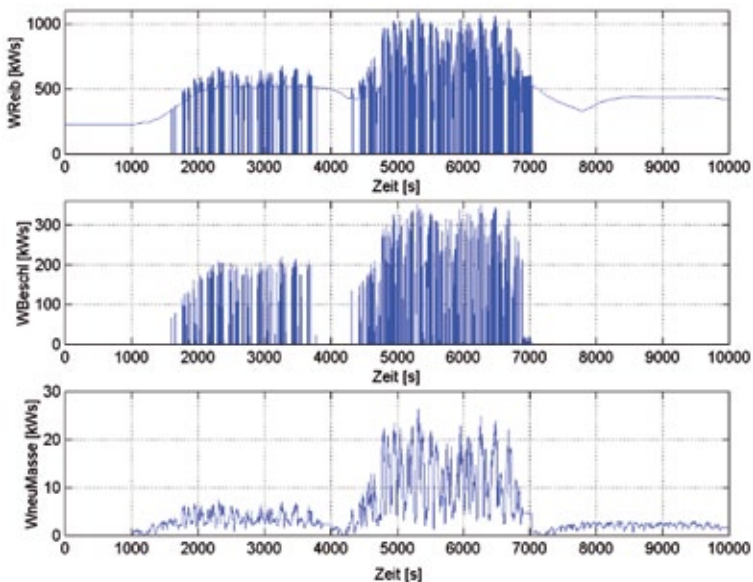


Bild 04: Anteile der Einzelarbeiten an der Gesamtarbeit

Aus der simulierten Gesamtarbeit des Gurtförderers K66 lässt sich die für die jeweilige Beladung (Bild 05) bzw. den Massenstrom (Bild 06) und Geschwindigkeit verrichtete Arbeit darstellen.

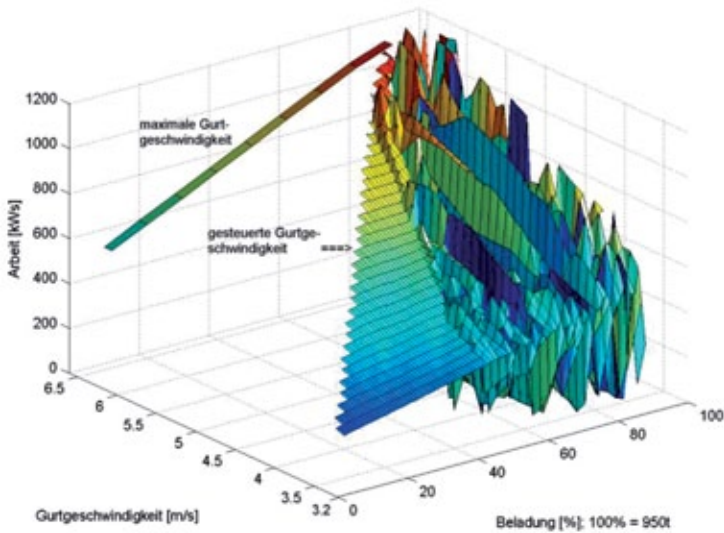


Bild 05: Arbeit über Beladung und Gurtgeschwindigkeit (Simulation K66)

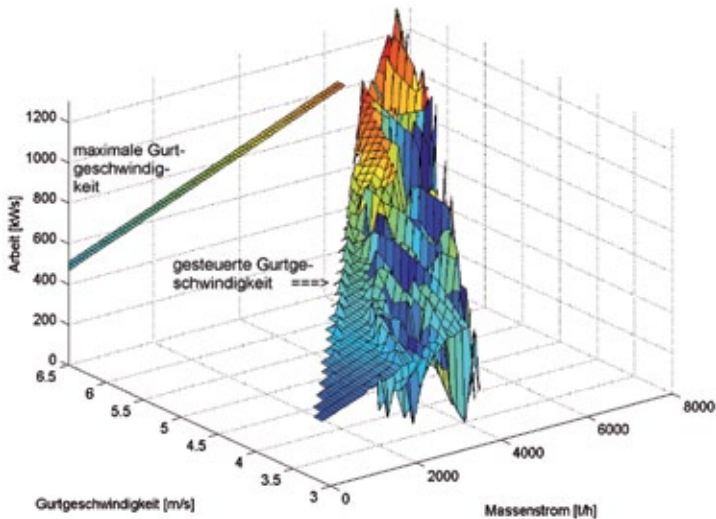


Bild 06: Arbeit über Massenstrom und Gurtgeschwindigkeit (Simulation K66)

8.2.3 Fördertechnische Auslastung der GF- Anlage

Durch sinnvolle Vorgaben / Förderleistungseinschränkungen der Gewinnungsgeräte bei gleichzeitiger Anpassung der Motorenbestückung der Gurtförderanlage ist es möglich, die Auslastung der Anlage zu erhöhen und so die Effektivität der Steuerung durch eine Verminderung der Anzahl der Beschleunigungen zu vergrößern.

Bei geschwindigkeitsgesteuerten Gurtförderanlagen ist es wichtig, den Gurtgeschwindigkeitsbereich im Sinne einer optimalen Anpassung an den ankommenden Volumenstrom festzulegen (möglichst geringe untere Gurtgeschwindigkeit ohne zusätzlich benötigte Kühlung). In die zukünftige Fahrweise ist ebenso die Ausschöpfung von Überlastungsmöglichkeiten (thermische und mechanische) für besondere Fälle vorzusehen. Dies ist besonders unter dem Gesichtspunkt des Losbrechmomentes beim Anfahren unter Last mit einer durchgefrorenen Gutstange (längerer Stillstand im Winter bei beladenem Gurtförderer) zu betrachten.

8.2.4 Lärminderung

Durch Kapselung von Antrieben in der Nähe von Ortschaften sowie dem Einsatz von lärmgeminderten Rollen kommt es zu einer Verminderung der Lärmbelastung von Anwohnern und Betreiberpersonal.

Eine weitere Lärminderung bringt die geringere durchschnittliche Gurtgeschwindigkeit infolge der Geschwindigkeitssteuerung. Hierbei wurden aufgrund von Lärmmessungen durch LAUBAG je nach Geschwindigkeitsabsenkung Verminderungen bis zu 9 dB im Leerlauf gemessen. Weitere Auswertungen hierzu sind durch LAUBAG in Arbeit.

8.2.5 Transparenzerhöhung für Anlagenzustand

Grundlage für eine Anlagendiagnose mit integrierter zustandsorientierter Instandhaltung ist das Vorhandensein umfangreicher Sensortechnik an allen zu überwachenden Bauteilen. Diese Voraussetzung ist an den neuen Kohlegurtförderern des Tagebaus Nochten erfüllt.

Eine weitere wichtige Voraussetzung ist die langfristige Messwerterfassung zur Trenderkennung und die Definition von Grenzwerten und Trends zur Erkennung von sich entwickelnden Schäden. Erst dadurch wird eine zustandsorientierte Instandhaltung möglich. Somit werden die Laufzeiten der Maschinen erhöht, Schäden während des Betriebes der Anlagen vermieden und die Lagerhaltung kostenintensiver Ersatzteile kann langfristig optimiert und geplant werden. Nach (6) gewinnen hier neben Temperaturmessungen Schwingungsmessungen und Schwingungsanalysen immer mehr an Bedeutung.

8.3 Ausblick

Durch die Weiterentwicklungen in der Motorentechnik, sowie durch Änderungen in der Preisgestaltung könnten für zukünftige Gurtförderanlagen auch getriebelose Antriebe (Direktantrieb) Verwendung finden.

Auftretende Longitudinalschwingungen infolge Erregungen im Gurt können durch neue Erfassungstechniken (im Gurt einvulkanisierte Transponder) erfasst und bewertet werden. Diese Schwingungen sind besonders unter dem Gesichtspunkt der Erregung durch Zwischenbeschleunigungen bei der geschwindigkeitsgesteuerten Fahrweise zu betrachten und lassen sich eventuell durch eine entsprechende Umrichteransteuerung ausregeln.

Prinzipiell sollte vermieden werden, dass kritische Eigenfrequenzen der bewegten Baugruppen im Betriebsbereich liegen.

Auf den Energieverbrauch sowie auf die Bauteilbelastung haben die Anzahl der Beschleunigungen und die verwendeten Rampen Einfluss. So nimmt bei einer Steuerung nach dem jeweils ankommenden Volumenstrom die durchschnittliche Fördererbelastung zu, im gleichen Maße wird durch die hierbei nötigen Beschleunigungen auch zusätzlich Energie benötigt.

Eine Optimierung ist somit für jede Gurtförderanlage unter den Gesichtspunkten Energiebedarf und zusätzliche Beanspruchungen vorzunehmen.

Die durch die Messungen an der alten und neuen Kohlegurtförderanlage Tgb. Nochten erhaltenen Erkenntnisse, insbesondere zum Momenteneintragsverhalten durch den Mehrtrommelantrieb bei herkömmlichen Antrieben sollten im Instandhaltungsregime zunehmend Beachtung finden.

Da die Bestimmung der aktuellen Gurtgeschwindigkeit sowie des Volumenstromes bei gesteuerter Anlage Grundvoraussetzung ist, muss in Zukunft auf die Entwicklung geeigneter Messverfahren mehr Augenmerk gelegt werden.

Aufgrund der geringen Auslastung bestimmter Gurtförderanlagen (benötigter Volumendurchsatz) müssen Schlussfolgerungen auf die Auslegung neuer Anlagen getroffen werden. Hierbei kann es bei angepasster Auslegung zur Einsparung von Investitionsmitteln kommen, ohne dass hierdurch die Fördersicherheit beeinträchtigt wird.

Bei der Überarbeitung von Berechnungsvorschriften (z.B. DIN 22101) ist eine mögliche Geschwindigkeitssteuerung mit in die technische Auslegung einzubinden.

Durch die Messungen an der Neuanlage kam es zu neuen Erkenntnissen hinsichtlich des Berechnungsmodells Gurtförderer. Durch die unterschiedlichen Fahrweisen (gestuft abgesenkte Geschwindigkeit bei nahezu konstanter Fördererbeladung) konnten erste Untersuchungen zu Abhängigkeiten von Gesamtbewegungswiderstand und Gesamtbewegungswiderstandsbeiwert von Gurtgeschwindigkeit und Beladung durchgeführt werden.

Bei der Konstruktion zukünftiger Gurtförderanlagen sollte die Einstellbarkeit der Gurtspannung für den jeweiligen Förderzustand (Betriebszustand, Beladung, Gurtdurchhang) in Betracht gezogen werden. Eine Anpassung der Gurtvorspannung insbesondere beim Anfahren (z. B. durch hydraulische Stelleinrichtungen) begünstigt die Lebensdauer der beteiligten Bauelemente. Auf eine etwaige Schwingungserregung des Gurtes ist bei der Auswahl der Verstellaktualisierung zu achten.

Gummibelagdickenmessung mit Ultraschall

Die Durchmesser der Antriebstrommeln spielen beim Krafteintrag in den Gurt eine entscheidende Rolle. Bei unterschiedlichem Trommeldurchmesser besitzen die Trommeln unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten was zur Verschiebung der Motorkennlinien führt. Dies bedeutet wiederum eine ungleiche Lastverteilung der beteiligten Motoren bis hin zum generatorischen Betrieb von Antriebsmotoren.

Um die unterschiedlichen Krafteinträge der Antriebe, wie sie an der Altanlage gemessen wurden, zu erklären, wurde von der FHL die Belagdickenmessung mit Ultraschall getestet (9). Mit Unterstützung von Herrn Krebs, Leiter des Technischen Vertriebs und Beratungsbüros der Tiede GmbH & Co Rissprüfanlagen, wurde ein Ultraschallprüfgerät der Fa. Tiede in Verbindung mit verschiedenen Ultraschallprüfköpfen getestet und bewertet.

Die Ultraschallprüfung erfolgt nach dem Prinzip der Laufzeitmessung von Schallimpulsen im zu untersuchenden Stoff. Ist die Schallgeschwindigkeit im zu untersuchenden Stoff nicht bekannt, wie z.B. bei verschiedenen Gummibelägen mit wechselnden Zusammensetzungen, kann die Ermittlung der Schallgeschwindigkeit durch Messung der Laufzeit des Impulses und Vergleich mit der realen Gummidicke erfolgen. Diese Kalibrierung sollte vor einer Messung an z.B. Trommelbelägen erfolgen. Ist die Schallgeschwindigkeit bekannt, erfolgt

die Ermittlung der Gummibelagdicke im Prüfgerät und schwankt etwa um 0,1 - 0,2 mm. Bei einer Gummibelagdicke von 25 mm entspricht dies 4 - 8 %. Dieser Fehler wird im Wesentlichen durch die Anpresskraft des Prüfkopfes auf den Gummibelag erzeugt. Weitere Untersuchungen zeigten, dass die Amplitude des Messsignals stark vom Prüfkopf und der Prüffrequenz abhängt. Hierzu werden zwischen FHL und der TIEDE & Co GmbH weitere Untersuchungen erfolgen.

Neben der Ermittlung des wirksamen Trommeldurchmessers wurde auch der Verlauf des Trommeldurchmessers längs der Trommelachse gemessen. Hier zeigten sich Trommelumfangsdifferenzänderungen von bis zu 20 mm. Bei Messungen an Stahlseilfördergurten konnte ebenfalls die Dicke der Schichten sowie die Lage der Stahlseile ermittelt werden. Messungen an Textilfördergurten erbrachten kein verwertbares Ergebnis.

Literaturverzeichnis

- (1) Daus, W.; Körber, S.; Becker, N.: Die Rohkohleverladung und Bandanlage im Tagebau Nochten; Braunkohle, 50 (1998) Nr.2 März / April, S. 117- 130
- (2) Biegel P.; Metzing P.: Projekt Geschwindigkeitsgeregelte Gurtförderanlage Nochten, Fehlerbetrachtungen zu den Messungen an der Altanlage, Betrachtungen zum Momenteneintrag der Motoren an der Altanlage; FHL Senftenberg (30.01.1998)
- (5) LAUBAG Presse- und Öffentlichkeitsarbeit: Broschüre Zahlen und Fakten Geschäftsjahr 1996/ 97; September 1997
- (6) Carl Schenck AG: Maschinendiagnose, Seminar C40; Darmstadt 1993
- (8) Biegel P.; Metzing P. : Projekt Geschwindigkeitsgeregelte Gurtförderanlage Nochten, Prinzipdarstellung der Steuerung der Gurtförderanlage durch zwei hintereinander angeordnete Steuerungsalgorithmen, u.a.; FHL Senftenberg (09.1.1998)
- (9) Biegel P.; Metzing P. : Projekt Messungen am Gurtförderer 5 der Abraumförderbrücke F 60, Tgb. Jänschwalde; FHL Senftenberg (3.7.1998)
- (10) Simonsen, H.: Neue Grundlagen für die Berechnung und Auslegung von Gurtförderern; VDI Berichte Nr. 1389, 1998; S. 1 - 21
- (11) DIN 22101: Stetigförderer, Gurtförderer für Schüttgut, Grundlagen für die Berechnung und Auslegung; Normenausschuss Bergbau (FABERG) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN; Ausgabe Februar 1982

9. SATZUNG – DES INSTITUTES FÜR UMWELT-TECHNIK UND RECYCLING SENFTENBERG E.V.

§ 1

Name, Sitz, allgemeine Bestimmungen

Der Verein führt den Namen „Institut für Umwelttechnik und Recycling Senftenberg“.

Sitz des Vereines ist Senftenberg. Der Verein soll beim Amtsgericht Senftenberg eingetragen werden. Nach der Eintragung führt er den Zusatz „e. V.“.

Das Geschäftsjahr ist das Kalenderjahr.

§ 2

Ziele und Zweck des Vereines

Der Verein bildet einen Zusammenschluss von Praktikern und Wissenschaftlern, die sich zur sachlichen Förderung wissenschaftlicher und technisch-technologischer Aufgaben und Probleme der Umwelttechnik und des Recyclings verbunden haben. Er stellt einen unpolitischen Mittel- und Sammelpunkt für alle Fragen der sachlichen und ideellen umwelt- und recyclingtechnischen Förderung dar.

Der Verein will Forschung und Entwicklung für eine zukunftssichernde Umwelt- und Recyclingtechnik fördern.

Der Verein will die Aus- und Weiterbildung von auf den Gebieten der Umwelttechnik und des Recyclings Tätigen in fachlicher Hinsicht fördern.

Der Verein will die Weitergabe von Erfahrungen und Erkenntnissen über effektive zukunfts-sichernde Umwelt- und Recyclingtechniken fördern.

Der Verein will die internationale Zusammenarbeit auf den Gebieten der Umwelt- und Recyclingtechniken fördern.

Der Verein kann sich zur Erfüllung seiner Aufgaben auch Dritter bedienen.

§ 3

Gemeinnützigkeit

Das Institut für Umwelttechnik und Recycling Senftenberg verfolgt ausschließlich gemeinnüt-zige Zwecke im Sinne des Abschnittes „Steuerbegünstigte Zwecke“ der Abgabenordnung.

Der Verein ist selbstlos tätig. Er verfolgt nicht in erster Linie eigenwirtschaftliche Zwecke.

Seine Mittel dürfen nur für die satzungsgemäßen Zwecke verwendet werden. Die Mitglieder erhalten keine Zuwendungen aus Mitteln des Vereines. Es darf keine Person durch Aus-gaben, die den Zwecken des Instituts für Umwelttechnik und Recycling Senftenberg fremd sind, oder durch unverhältnismäßig hohe Vergütungen begünstigt werden.

§ 4

Erwerb der Mitgliedschaft

Mitglieder sind;

- a) ordentliche Mitglieder
- b) fördernde Mitglieder

Ordentliche Mitglieder können alle Einzelpersonen und juristische Personen des öffentlichen und privaten Rechts und Personenvereinigungen werden, die die Vereinssatzung anerkennen. Fördernde Mitglieder können juristische Personen des öffentlichen und privaten Rechts und Personenvereinigungen werden, die dem Zweck des Vereines besonders verbunden sind.

Die Aufnahme als Mitglied ist beim Vorstand schriftlich zu beantragen. Über die Aufnahme entscheidet der Vorstand. Die Aufnahme wird dem Mitglied unter Zusendung der Satzung, Mitteilung des Beginnes der Mitgliedschaft und Angabe seiner Beitragspflicht schriftlich mitgeteilt. Gegen den ablehnenden Bescheid, der mit Gründen zu versehen ist, kann der Antragsteller Beschwerde erheben. Die Beschwerde ist innerhalb eines Monats ab Zugang des ablehnenden Bescheids schriftlich beim Vorstand einzulegen.

Über die Beschwerde entscheidet die nächste ordentliche Mitgliederversammlung.

Mit der Aufnahme verpflichten sich die Mitglieder zur Zahlung von jährlichen Beiträgen, deren Höhe von der Mitgliederversammlung in einer Beitragsordnung festgesetzt wird.

§ 5

Beendigung der Mitgliedschaft

Die Mitgliedschaft endet

- a) mit dem Tod des Mitgliedes
- b) durch Auflösung der juristischen Person oder Personenvereinigung
- c) durch freiwilligen Austritt
- d) durch Streichung von der Mitgliederliste
- e) durch Ausschluss

Jedes Mitglied kann durch schriftliche Erklärung gegenüber einem Mitglied des Vorstandes bis 30.09. eines Jahres zum Schluss des Geschäftsjahres austreten.

Ein Mitglied kann durch den Beschluss des Vorstandes von der Mitgliederliste gestrichen werden, wenn es trotz zweimaliger Mahnung mit der Zahlung des Beitrages in Rückstand ist. Die Streichung darf erst beschlossen werden, wenn seit der Absendung des zweiten Mahnschreibens drei Monate verstrichen und die Beitragsschulden nicht beglichen sind. Die Streichung ist dem Mitglied mitzuteilen.

Ein Mitglied kann, wenn es die Belange des Vereines in erheblichem Maße geschädigt oder wenn es gegen die Vereinsinteressen gröblich verstoßen hat, durch den Beschluss des Vorstandes aus dem Verein ausgeschlossen werden.

Vor der Beschlussfassung ist dem Mitglied unter Setzung einer angemessenen Frist Gelegenheit zu geben, sich persönlich oder schriftlich vor dem Vorstand zu rechtfertigen. Eine schriftliche Stellungnahme des Betroffenen ist in der Vorstandssitzung zu verlesen.

Der Beschluss über den Ausschluss ist mit Gründen zu versehen und dem Mitglied mittels eingeschriebenen Brief bekannt zu machen. Gegen den Ausschlussbeschluss des Vor-

standes steht dem Mitglied das Recht der Berufung an die Mitgliederversammlung zu. Die Berufung hat aufschiebende Wirkung. Die Berufung muss innerhalb einer Frist von einem Monat ab Zugang des Ausschließungsbeschlusses beim Vorstand schriftlich eingelegt werden. Ist die Berufung rechtzeitig eingelegt, so hat der Vorstand innerhalb von drei Monaten die Mitgliederversammlung zur Entscheidung über die Berufung einzuberufen. Geschieht das nicht, gilt der Ausschließungsbeschluss als nicht erlassen. Macht das Mitglied von dem Recht der Berufung gegen den Ausschließungsbeschluss keinen Gebrauch oder versäumt es die Berufungsfrist, so unterwirft es sich damit dem Ausschließungsbeschluss mit der Folge, dass die Mitgliedschaft als beendet gilt.

§ 6

Organe des Institutes

§ 12 Die Einberufung der Mitgliederversammlung

Die Organe des Vereines sind:

1. der Vorstand
2. die Mitgliederversammlung

§ 7

Der Vorstand

Den Vorstand bilden mindestens drei Personen (Positionen 1 bis 3):

1. der Vorsitzende
2. der stellvertretende Vorsitzende
3. der Schatzmeister
4. sonstige Vorstandsmitglieder ohne Funktionsbezeichnung

Sämtliche Vorstandsmitglieder sind, mit Ausnahme des Falles nach letztem Satz des § 9, von der Mitgliederversammlung zu wählen.

Der Verein wird gerichtlich und außergerichtlich durch zwei Mitglieder des Vorstandes, darunter der Vorsitzende oder sein Stellvertreter, vertreten.

Rechtsgeschäfte mit einem Geschäftswert über 2.500 € müssen von zwei Vorstandsmitgliedern der Positionen 1 bis 3 unterzeichnet werden.

Spezielle Aufgaben mit einem Projektverantwortlichen erfordern zusätzlich dessen Unterschrift.

Die Vereinigung mehrerer Vorstandsämter in einer Person ist unzulässig.

Im Vorstand müssen die Vereinsmitglieder, die zugleich Angehörige der Hochschule Lausitz (FH) sind, über die Stimmenmehrheit verfügen. Von Position 1 bis 3 müssen zwei mit Angehörigen der Hochschule Lausitz (FH) besetzt werden.

Ausgangsrechnungen müssen von 2 Vorstandsmitgliedern unterzeichnet werden. Erst dann darf der Schatzmeister die Überweisung per Onlinebanking allein durchführen.

§ 8

Die Zuständigkeit des Vorstandes

Der Vorstand führt die Geschäfte des Vereines, soweit nicht die Mitgliederversammlung zuständig ist. Er hat vor allem folgende Aufgaben:

1. Vorbereitung der Mitgliederversammlung und Aufstellen der Tagesordnung;
2. Einberufung der Mitgliederversammlung;
3. Ausführung der Beschlüsse der Mitgliederversammlung;
4. Aufstellung eines Haushaltsplanes für jedes Geschäftsjahr; Buchführung; Erstellung eines Jahresberichtes;
5. Abschluss und Kündigung von Arbeitsverträgen;
6. Beschlussfassung über Aufnahme, Streichung und Ausschluss von Mitgliedern.

§ 9

Amtsdauer des Vorstandes

Der Vorstand wird von der Mitgliederversammlung für drei Jahre gewählt, Wiederwahl ist zulässig. Der Vorstand bleibt solange kommissarisch im Amt, bis ein neuer ordnungsgemäß gewählt ist. Jedes Vorstandsmitglied ist einzeln zu wählen. Wählbar sind nur Vereinsmitglieder.

Der Vorsitzende des Vorstandes muss Angehöriger der Hochschule Lausitz (FH) sein.

Scheidet ein Vorstandsmitglied während der Amtsperiode aus, so bestellen die verbleibenden Vorstandsmitglieder ein Ersatzmitglied für die Zeit bis zur nächsten regulären Vorstandswahl.

§ 10

Beschlussfassung des Vorstandes

Der Vorstand fasst seine Beschlüsse im Allgemeinen in Vorstandssitzungen, die vom Vorsitzenden, bei dessen Verhinderung vom stellvertretenden Vorsitzenden schriftlich, fernmündlich oder in einer anderen geeigneten Art und Weise einberufen werden. In jedem Fall ist eine Einberufungsfrist von einer Woche einzuhalten. Einer Mitteilung der Tagesordnung bedarf es nicht. Der Vorstand ist beschlussfähig, wenn mindestens zwei Vorstandsmitglieder, darunter der Vorsitzende oder dessen Stellvertreter, anwesend sind. Bei der Beschlussfassung entscheidet die Mehrheit der abgegebenen gültigen Stimmen. Bei Stimmengleichheit entscheidet die Stimme des Leiters der Vorstandssitzung. Die Vorstandssitzung leitet der Vorsitzende, bei dessen Verhinderung sein Stellvertreter. Die Beschlüsse des Vorstandes sind zu Beweis Zwecken in ein Beschlussbuch einzutragen und vom Sitzungsleiter zu unterschreiben. Die Niederschrift soll Ort und Zeit der Vorstandssitzung, die Namen der Teilnehmer, die gefassten Beschlüsse und das Abstimmungsergebnis enthalten.

Ein Vorstandsbeschluss kann auf schriftlichem Wege gefasst werden, wenn alle Vorstandsmitglieder ihre Zustimmung zu der zu beschließenden Regelung erklären.

§ 11

Die Mitgliederversammlung

Alle Mitglieder haben in der Mitgliederversammlung gleiches Stimmrecht. Die Mitgliederversammlung entscheidet über folgende Angelegenheiten des Vereines:

1. Genehmigung des vom Vorstand aufgestellten Haushaltsplanes für das nächste Geschäftsjahr; Entgegennahme des Jahresberichtes des Vorstandes; Entlastung des Vorstandes;

2. Festsetzung der Höhe und der Fälligkeit des Jahresbeitrages;
3. Wahl und Abberufung der Mitglieder des Vorstandes;
4. Beschlussfassung über Satzungsänderungen und über die Auflösung des Vereines;
5. Beschlussfassung über die Beschwerde gegen die Ablehnung des Aufnahmeantrages sowie über die Berufung gegen einen Ausschlussbeschluss des Vorstandes.

In Angelegenheiten, die in den Zuständigkeitsbereich des Vorstandes fallen, kann die Mitgliederversammlung Empfehlungen an den Vorstand beschließen. Der Vorstand kann seinerseits in Angelegenheiten seines Zuständigkeitsbereiches die Meinung der Mitgliederversammlung einholen.

§ 12

Die Einberufung der Mitgliederversammlung

Mindestens einmal im Jahr soll die ordentliche Mitgliederversammlung stattfinden. Sie wird vom Vorstand unter Einhaltung einer Frist von drei Wochen schriftlich unter Angabe der Tagesordnung einberufen. Die Frist beginnt mit dem auf die Absendung des Einladungsschreibens folgenden Tag. Das Einladungsschreiben gilt dem Mitglied als zugegangen, wenn es an die letzte vom Mitglied dem Verein schriftlich bekannt gegebene Adresse gerichtet ist. Die Tagesordnung setzt der Vorstand fest.

§ 13

Die Beschlussfassung der Mitgliederversammlung

Die Mitgliederversammlung wird vom Vorsitzenden, bei dessen Verhinderung vom Stellvertreter oder einem anderen Vorstandsmitglied geleitet. Ist kein Vorstandsmitglied anwesend, bestimmt die Versammlung den Leiter. Bei Wahlen kann die Versammlungsleitung für die Dauer des Wahlganges und der vorhergehenden Diskussionen einem Wahlausschuss übertragen werden.

Der Protokollführer wird vom Versammlungsleiter bestimmt; zum Protokollführer kann auch ein Nichtmitglied bestimmt werden.

Die Art der Abstimmung bestimmt der Versammlungsleiter. Die Abstimmung muss schriftlich durchgeführt werden, wenn ein Drittel der bei der Abstimmung anwesenden stimmberechtigten Mitglieder dies beantragt.

Die Mitgliederversammlung ist nicht öffentlich. Der Versammlungsleiter kann Gäste zulassen. Über die Zulassung der Presse oder anderer Medien beschließt die Mitgliederversammlung.

Die Mitgliederversammlung ist beschlussfähig, wenn mindestens ein Drittel sämtlicher Vereinsmitglieder anwesend ist. Bei Beschlussunfähigkeit ist der Vorstand verpflichtet, innerhalb von vier Wochen eine zweite Mitgliederversammlung mit der gleichen Tagesordnung einzuberufen; diese ist ohne Rücksicht auf die Zahl der erschienenen Mitglieder beschlussfähig. Hierauf ist in der Einladung hinzuweisen.

Die Mitgliederversammlung fasst Beschlüsse im Allgemeinen mit einfacher Mehrheit der abgegebenen gültigen Stimmen. Zur Änderung der Satzung ist jedoch eine Mehrheit von drei Viertel der abgegebenen gültigen Stimmen, zur Auflösung des Vereines eine solche von vier Fünfteln erforderlich. Eine Änderung des Zweckes des Vereines kann nur mit Zustimmung

aller Mitglieder beschlossen werden. Die schriftliche Zustimmung der in der Mitgliederversammlung nicht erschienenen Mitglieder kann nur innerhalb eines Monats gegenüber dem Vorstand erklärt werden.

Für Wahlen gilt Folgendes: Hat im ersten Wahlgang kein Kandidat die Mehrheit der abgegebenen gültigen Stimmen erreicht, findet eine Stichwahl zwischen den Kandidaten statt, welche die beiden höchsten Stimmenzahlen erreicht haben. Bei gleicher Stimmenzahl entscheidet das vom Versammlungsleiter zu ziehende Los.

Über die Beschlüsse der Mitgliederversammlung ist ein Protokoll aufzunehmen, das in jedem Fall von zwei Personen unterschrieben werden muss; vom Protokollführer und einem Vorstandsmitglied oder dem Versammlungsleiter. Es soll folgende Feststellungen enthalten: Ort und Zeit der Versammlung, die Person des Versammlungsleiters und des Protokollführers, die Zahl der erschienenen Mitglieder, die Tagesordnung, die Ergebnisse und die Art der Abstimmung. Bei Satzungsänderungen soll der genaue Wortlaut angegeben werden. Während der Mitgliederversammlung besteht Rauchverbot.

§ 14

Nachträgliche Anträge zur Tagesordnung

Jedes Mitglied kann bis spätestens eine Woche vor dem Tag der Mitgliederversammlung beim Vorstand schriftlich beantragen, dass weitere Angelegenheiten nachträglich auf die Tagesordnung gesetzt werden. Der Versammlungsleiter hat zu Beginn der Mitgliederversammlung die Tagesordnung entsprechend zu ergänzen.

Über Anträge auf Ergänzung der Tagesordnung, die erst in der Mitgliederversammlung gestellt werden, beschließt die Mitgliederversammlung. Zur Annahme des Antrages ist eine Mehrheit von drei Viertel der abgegebenen gültigen Stimmen erforderlich.

§ 15

Außerordentliche Mitgliederversammlungen

Der Vorstand kann jederzeit eine außerordentliche Mitgliederversammlung einberufen. Diese muss einberufen werden, wenn das Interesse des Vereines es erfordert oder wenn die Einberufung von einem Drittel aller Mitglieder schriftlich unter Angabe des Zweckes und der Gründe vom Vorstand verlangt wird. Für die außerordentliche Mitgliederversammlung gelten §§ 12 bis 14 entsprechend.

§ 16

Vereinsvermögen

Die Mitglieder haben keine Ansprüche auf Überschüsse oder auf das Vermögen des Vereines, auch nicht bei Austritt, Streichung oder Ausschluss.

Andererseits kann das Vermögen der Mitglieder über den Mitgliedsbeitrag hinaus für Verbindlichkeiten des Vereins nicht beansprucht werden.

§ 17

Auflösung des Vereines

Die Auflösung des Vereines kann nur in einer Mitgliederversammlung mit der im § 13 festgelegten Stimmenmehrheit beschlossen werden. Sofern die Mitgliederversammlung nichts anderes beschließt, sind der Vorsitzende und der stellvertretende Vorsitzende gemeinsam vertretungsberechtigte Liquidatoren. Die vorstehenden Vorschriften gelten entsprechend für den Fall, dass der Verein aus einem anderen Grund aufgelöst wird oder seine Rechtsfähigkeit verliert.

Im Falle der Auflösung oder Aufhebung des Vereins oder bei Wegfall des bisherigen steuerbegünstigten Zweckes fällt das Vereinsvermögen an die Hochschule Lausitz (FH), die es unmittelbar und ausschließlich für gemeinnützige Zwecke zu verwenden hat. Die vorstehende Satzung wurde am 20.02.1997 in Senftenberg von der Gründungsversammlung errichtet. § 2 der Satzung wurde auf der Hauptjahresversammlung am 15.02.2000 geändert.

§§ 7 und 9 der Satzung wurden auf der Hauptjahresversammlung am 26.03.2002 geändert.

§ 17 der Satzung wurde auch der Hauptjahresversammlung am 27.03.2007 geändert.

§§ 7 und 12 wurden auf der Hauptjahresversammlung am 25.10.2011 geändert.

Änderung der Bezeichnung „Fachhochschule Lausitz“ in „Hochschule Lausitz (FH)“ auf der Hauptjahresversammlung am 25.10.2011.

Der Verein ist unter der Nr. VR 2980 CB in das Vereinsregister beim Amtsgericht Cottbus eingetragen.

Bankverbindung:

Sparkasse Niederlausitz

Konto 3012000940

BLZ 18055000

10. AUSBLICK

Peter Biegel, Vorsitzender des IURS e.V.

Nach 15 Jahren erfolgreicher Tätigkeit von Kolleginnen und Kollegen, von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern mit Studierenden an anwendungsorientierten Themen aus der Wirtschaft verbleibt der Wunsch, dass unsere Partner aus der Wirtschaft dem Team des An-Institutes IURS e.V. der Hochschule Lausitz (FH) weiterhin gewogen bleiben. Ein erfolgreiches anwendungsorientiertes wissenschaftliches Arbeiten setzt in der Regel erfolgreiche Partnerschaften voraus. In der Vielfalt der Projekte ist es gelungen, unseren Studierenden, in nahezu alle Projekte waren sie eingebunden, interessante Aufgaben aus dem realen Wirtschaftsleben zur Bearbeitung/Mitarbeit anzubieten. Diese Bemühungen stehen im Einklang mit unseren Aufgaben aus der Hochschule.

Hier sei nochmals ein großes Dankeschön an unsere Projektpartner ausgesprochen.

In gleicher Weise möchte ich an dieser Stelle den Verantwortungsträgern der Hochschule Lausitz (FH) ein Dankeschön aussprechen; hier fanden wir immer ein offenes Ohr für die unterschiedlichsten Anliegen aus der Arbeit des An-Institutes heraus und konnten auf Unterstützung hoffen.

Es zeichnet sich ab, dass die Mannschaft des An-Institutes auch einem Wandel unterliegt. Jeder aus der Mitgliedschaft ist aufgerufen für Nachwuchs in den Reihen des An-Institutes zu sorgen. Die Vielfalt der Kompetenzträger und deren Kooperationsbereitschaft in unseren Reihen führt zu einer leistungsfähigen Initiative an der Hochschule und aus der Region heraus.

Aus diesem Blickwinkel heraus wünsche ich uns weiterhin ein erfolgreiches Arbeiten, gepaart mit der zugehörigen Freude beim Lösen der Aufgaben.



ISBN 978-3-86929-079-9

Das Werk einschließlich seiner Texte ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des IURS e.V. unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Copyright 2013.